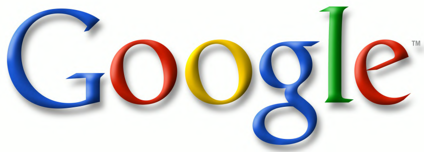
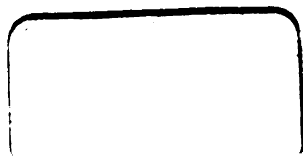

Google


VE RI
TAS



HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE

bearbeitet von

Prof. H. AUBERT in Rostock, Prof. C. ECKHARD in Giessen, Prof. TH. W. ENGELMANN in Utrecht, Prof. SIGMUND EXNER in Wien, Prof. A. FICK in Würzburg, weil. Prof. O. FUNKE in Freiburg, Dr. P. GRÜTZNER in Breslau, Prof. R. HEIDENHAIN in Breslau, Prof. V. HENSEN in Kiel, Prof. E. HERING in Prag, Prof. L. HERMANN in Zürich, Prof. H. HUPPERT in Prag, Prof. W. KÜHNE in Heidelberg, Prof. B. LUCHSINGER in Bern, Prof. R. MALY in Graz, Prof. SIGMUND MAYER in Prag, Prof. O. NASSE in Halle, Prof. A. ROLLETT in Graz, Prof. J. ROSENTHAL in Erlangen, Prof. M. v. VINTSCHGAU in Innsbruck, Prof. C. v. VOIT in München, Prof. W. v. WITTICH in Königsberg, Prof. N. ZUNTZ in Bonn.

Herausgegeben

von

DR. L. HERMANN,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH.

Dritter Band.

Physiologie der Sinnesorgane.

ERSTER THEIL.

Physiologie des Gesichtssinns

von

A. Fick, W. Kühne u. E. Hering.

LEIPZIG

VERLAG VON F. C. W. VOGEL.

1879.

☞ Das **Register** zum III. Bande ist in dem 2. Theile enthalten. ☜

HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE.

HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE

BEARBEITET VON

Prof. H. AUBERT in Rostock, Prof. C. ECKHARD in Giessen, Prof. TH. W. ENGELMANN in Utrecht, Prof. SIGM. EXNER in Wien, Prof. A. FICK in Würzburg, weil. Prof. O. FUNKE in Freiburg, Dr. P. GRÜTZNER in Breslau, Prof. R. HEIDENHAIN in Breslau, Prof. V. HENSEN in Kiel, Prof. E. HERING in Prag, Prof. L. HERMANN in Zürich, Prof. H. HUPPERT in Prag, Prof. W. KÜHNE in Heidelberg, Prof. B. LUCHSINGER in Bern, Prof. R. MALY in Graz, Prof. SIGM. MAYER in Prag, Prof. O. NASSE in Halle, Prof. A. ROLLETT in Graz, Prof. J. ROSENTHAL in Erlangen, Prof. M. v. VINTSCHGAU in Innsbruck, Prof. C. v. VOIT in München, Prof. W. v. WITTICH in Königsberg, Prof. N. ZUNTZ in Bonn.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. L. HERMANN,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH.

DRITTER BAND.

I. THEIL.

LEIPZIG,

VERLAG VON F. C. W. VOGEL.

1879.

HANDBUCH DER PHYSIOLOGIE

DER

SINNESORGANE.

ERSTER THEIL.

GESICHTSSINN.

DIOPTRIK. NEBENAPPARATE DES AUGES.
LEHRE VON DER LICHTEMPFINDUNG.

VON A. FICK IN WÜRZBURG.

CHEMISCHE VORGÄNGE IN DER NETZHAUT

VON W. KÜHNE IN HEIDELBERG.

RAUMSINN DES AUGES. AUGENBEWEGUNGEN

VON E. HERING IN PRAG.

MIT 144 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1879.



INHALTSVERZEICHNISS
zu Band III. Theil 1.

PHYSIOLOGIE DER SINNESORGANE I.*)

Physiologie des Gesichtssinns

von

PROF. A. FICK, PROF. W. KÜHNE, PROF. E. HERING.

Seite

Erster Theil. Dioptrik. Nebenapparate des Auges.

Von PROF. A. FICK.

---

*) Die allgemeine Empfindungslehre ist bei der Physiologie des Grosshirns im 2. Theil des II. Bandes abgehandelt.

Zweiter Theil. Die Lehre von der Lichtempfindung.

Von Prof. A. Fick.

Dritter Theil. Chemische Vorgänge in der Netzhaut.

Von Prof. W. Kühne.

Vierter Theil. Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges.

Von Prof. E. Hering.

PHYSIOLOGIE DES GESICHTSSINNS

VON

PROF. A. FICK IN WÜRZBURG, PROF. W. KÜHNE IN HEIDELBERG

UND

PROF. E. HERING IN PRAG.

ERSTER THEIL.

DIOPTRIK. NEBENAPPARATE DES AUGES.

VON

PROF. A. FICK IN WÜRZBURG.

EINLEITUNG.

Vorbemerkung. Der Verfasser der nachfolgenden beiden Abschnitte ist in der glücklichen Lage, in historischen und literarischen Nachweisen sparsamer als mancher Andere sein zu dürfen. Da erst vor wenigen Jahren die klassische monographische Darstellung der physiologischen Optik von HELMHOLTZ erschienen ist, welche der Literatur und Geschichte dieser Wissenschaft die grösste Sorgfalt widmet, und da jeder, der diesen Theil der Physiologie eingehend studiren will, doch nicht umhin kann, dies Werk zu Rathe zu ziehen, so hat der Verfasser nach Vollständigkeit nur streben zu sollen geglaubt in Angabe der Literatur, welche nach HELMHOLTZ erschienen ist.

Aufgabe der physiologischen Optik ist die Erklärung der Thatsache des alltäglichen Lebens, dass uns ein Blick mit gesunden Augen in den Raum hinaus bis zu einem gewissen Grade genaue Kenntniss giebt von der Gestalt und Lage der vor uns gelegenen Körper, sofern von ihrer Oberfläche Lichtstrahlen ausgehen und dass wir zugleich gewisse Unterschiede der Beschaffenheit des von jenen Körpern ausgesandten Lichtes wahrnehmen.

Diese Erscheinung ist offenbar nur dadurch möglich, dass die von den Oberflächen der vor uns gelegenen Körper ausgehenden Lichtstrahlen im Auge, in welches sie eindringen, ein System von Empfindungen derart erregen, dass jedem Theilchen der Oberfläche jener Körper eine besondere im Bewusstsein unterscheidbare Empfindung entspricht und dass die Beschaffenheit der einzelnen Empfindungen in irgend einer Weise abhängt von der Beschaffenheit der sie verursachenden Lichtstrahlen. Hierzu ist vor Allem, wie man leicht sieht, erforderlich, dass die von einem einzelnen Punkte der Oberfläche der vor uns gelegenen Körper ausgesandten Lichtstrahlen, sofern sie überall ins Auge eindringen, daselbst nur ein Nervenelement oder wenigstens nur eine eng begrenzte Gruppe von Nervenelementen erregt, denn nur auf diese Weise kann jenes System

von unterscheidbaren Empfindungen entstehen, deren jede als Zeichen für einen bestimmten Punkt der vor uns liegenden Körperoberflächen dienen kann. Es ist also, wenn anders der Sehakt erklärlich sein soll, nothwendig erstens dass irgendwo im Auge eine mosaikartige Ausbreitung von Nervenenden zu finden ist, deren jede mit einem Anhangsgebilde versehen ist, in welchem auffallendes Licht eine Arbeit leistet, die als Reiz für das Nervenende dienen kann. Zweitens muss vor dieser Nervenausbreitung ein Apparat liegen, welcher für Lichtstrahlen durchlässig und so beschaffen ist, dass die von einem Punkte ausserhalb in dasselbe eindringenden Lichtstrahlen auf einen möglichst eng begrenzten Theil des Nervenmosaiks koncentrirt werden. Wenn diese beiden Bedingungen erfüllt sind, so ist offenbar der Sehakt, wie wir ihn täglich wirklich vollziehen physiologisch erklärlich, denn es wird alsdann jeder Punkt der Oberfläche eines vor uns liegenden Körpers durch die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen nur ein oder nur wenige Nervenelemente erregen und mithin eine von Anderen unterscheidbare Empfindung veranlassen.

Die Physiologie des Gesichtssinnes wird demnach vor Allem zu untersuchen haben, unter welchen Umständen die von allen möglichen Punkten des Raumes in ein System durchsichtiger Körper eindringenden Lichtstrahlen in diesem so geordnet werden, dass allemal die von einem Punkte ausserhalb ausgegangenen Strahlen wieder in einem Punkte einer innerhalb des Systemes gelegenen Fläche vereinigt werden. Den Inbegriff der Vereinigungspunkte aller der Strahlenbündel welche von den einzelnen Punkten der Oberfläche eines Gegenstands ausgegangen sind nennt man bekanntlich das optische „Bild“ des Gegenstandes. Man kann daher die soeben aufgeworfene Frage auch so aussprechen: unter welchen Umständen entsteht von den vor einem System durchsichtiger Körper gelegenen leuchtenden Punkten auf einer innerhalb des Systemes gelegenen Fläche ein „optisches Bild“?

Die Dioptrik lehrt dass ein sogenanntes centrirtes System sphärischer Trennungsflächen zwischen einer Reihe durchsichtiger Medien von jedem in einer zur Axe senkrechten Ebene ausgebreiteten Gegenstande unter gewissen Bedingungen ein optisches Bild erzeugt, das gleichfalls in einer zur Axe senkrechten Ebene liegt, und es lässt sich für ein bekanntes System dieser Art die Lage und Gestalt des Bildes nach sehr einfachen Regeln finden, wenn die Lage und Gestalt des Gegenstandes gegeben ist. Da wir später von diesen Lehren den ausgedehntesten Gebrauch werden zu machen haben, so sollen dieselben zunächst elementar entwickelt werden.

ERSTES CAPITEL.

Gang der Lichtstrahlen durch ein centrirtes System sphärischer Trennungsflächen.

I. Brechung von Strahlenbündeln durch eine einzige sphärische Trennungsfläche.

Wir stellen uns zwei durchsichtige Stoffe etwa Luft und Glas vor, welche von einander getrennt sind durch einen Abschnitt einer um den Punkt C beschriebenen Kugeloberfläche. Auf sie lassen wir jetzt im ersten Medium einen ganz beliebigen Lichtstrahl fallen und legen durch seine Richtung und den Mittelpunkt der Kugel eine Ebene, welche die „Einfallsebene" im Sinne der Optik sein wird. In ihr konstruiren wir die Zeichnung Fig. 1 auf welcher C der Mittelpunkt Px der Strahl x der Einfallspunkt und mithin Cx resp. ihre Ver-

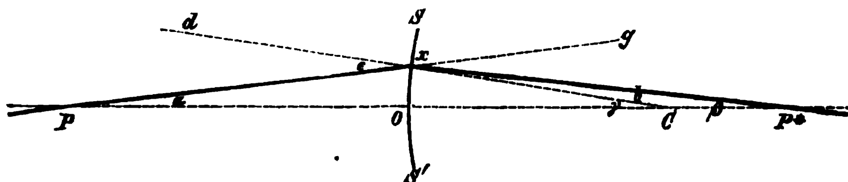


Fig. 1

längerung xa das Einfallsloth, endlich SS' der Kreisbogen ist, in welchem der Kugelabschnitt die Ebene schneidet. Wir ziehen nun in der Ebene durch C und einen willkürlich gewählten Punkt O des Kreisbogens SS' eine gerade CO welche verlängert den Strahl im Punkte P schneiden mag. Am Punkte x angekommen wird der Strahl Px bekanntlich zum Theil reflektirt zum Theil dringt er in das zweite Medium ein. Der reflektirte Theil des Strahles hat hier für uns kein Interesse. Wir verfolgen bloss den Gang des ins zweite Medium eintretenden, des sogenannten gebrochenen Strahles. Dieser Gang ist bekanntlich nach dem ersten Grundgesetze der Brechung in einfach brechenden Medien jedesfalls in der Einfallsebene d. h. also im vorliegenden Falle in der Ebene der Zeichnung enthalten und er bildet mit dem einwärts gerichteten Theile des Einfallslothes xC einen Winkel b, dessen Sinus zum Sinus des Einfallswinkels dxP oder e in einem für ein be-

stimmtes Paar brechender Medien konstantem Verhältniss steht und zwar ist dies Verhältniss

$$\frac{\text{Sin } e}{\text{Sin } b}$$

für den beispielsweise gewählten Uebergang des Lichtes aus Luft in Glas grösser als 1. Der gebrochene Strahl schliesst also mit dem nach innen gerichteten Theile des Einfallslothes einen kleineren Winkel ein als die Verlängerung des einfallenden Strahles xg. Da die Richtung des gebrochenen Strahles wie gesagt sicher in der Ebene der Zeichnung als der Einfallsebene zu finden ist, so muss sie auch die darin befindliche Linie OC schneiden. Der Durchschnittspunkt kann übrigens ebensowohl auf dem physisch vorhandenen Strahle rechts von x liegen als auf der rückwärts nach links zu denkenden Verlängerung der Richtung des gebrochenen Strahles. Wir wollen beispielsweise annehmen der Schnittpunkt läge in P^* rechts von x, was in unserem Falle wohl möglich ist, da der Winkel b kleiner ist als der Scheitelwinkel von e. Es soll nun eine Beziehung zwischen den Strecken OP und OP^* gesucht werden. Wenn die Richtung des einfallenden Strahles gar keiner Beschränkung unterworfen wird, so ist diese Beziehung nicht einfach darzustellen, wenn man aber nur solche Strahlen in Betracht zieht, für welche der Einfallswinkel und der Winkel xCO welchen das Einfallsloth mit der Geraden CO einschliesst und der mit γ bezeichnet werden mag, nur sehr kleine Werthe haben so ist die fragliche Beziehung sehr leicht herzustellen. Hierin liegt offenbar zunächst eine Einschränkung bezüglich der Ausdehnung des durchsichtigen Theiles der Grenze zwischen den beiden Medien es muss nämlich derselbe ein Kugelabschnitt sein, der nur einen kleinen Bruchtheil der ganzen Kugeloberfläche ausmacht, denn sonst würde man für jeden beliebigen einfallenden Strahl die Linie CO durch einen Punkt O des Abschnittes so legen können, dass der Centriwinkel xCO gross wäre. Zweitens dürfen aber auch, selbst wenn der durchsichtige Kugelabschnitt noch so klein angenommen ist, keine sehr schräg einfallende Strahlen in Betracht gezogen werden.

Werden nun in der That für die Winkel e und γ nur sehr kleine Werthe zugelassen und ist mithin auch der Winkel b jedesfalls sehr klein, so kann man ohne erheblichen Fehler für die Sinus dieser Winkel die Winkel selbst in Rechnung bringen und wenn man das konstante Verhältniss

$$\frac{\text{Sin } e}{\text{Sin } b} = n \text{ setzt, ergiebt sich } \frac{e}{b} = n \text{ oder } e = n\,b.$$

Es ist aber ferner bei der Kleinheit des Winkels xCO erlaubt den Bogen xO als eine auf OC senkrechte gerade Linie anzusehen. Es ist also wenn man den Winkel xPO mit α und xP^*O mit β sowie den Radius der Kugel OC mit r bezeichnet sehr annähernd

$$tg\,\alpha = \frac{Ox}{OP};\ tg\,\beta = \frac{Ox}{OP^*} \text{ und } tg\,\gamma = \frac{Ox}{OC} = \frac{Ox}{r}$$

und da bei kleinen Winkeln die trigonometrische Tangente, so wie der Sinus, dem Winkel selbst in Bogenmaass ausgedrückt gleich ist so hat man

$$\alpha = \frac{Ox}{OP};\ \beta = \frac{Ox}{OP^*} \text{ und } \gamma = \frac{Ox}{OC}.$$

Nun ist als Aussenwinkel des Dreieckes PxC der Winkel e oder $nb = \alpha + \gamma$ der Summe der beiden inneren gegenüberliegenden und aus demselben Grunde $\gamma = b + \beta$ oder $b = \gamma - \beta$. Einsetzen dieses Werthes in erstere Gleichung ergiebt $n(\gamma - \beta) = \alpha + \gamma$ oder $(n-1)\gamma = \alpha + n\beta$. Setzt man hier für die Winkel ihre oben gefundenen Werthe so hat man

$$\frac{(n-1)\,Ox}{OC} = \frac{Ox}{OP} + \frac{n\,.\,Ox}{OP^*}$$

oder wenn man durch Ox beide Seiten der Gleichung dividirt

$$\frac{n-1}{OC} = \frac{1}{OP} + \frac{n}{OP^*},\ \text{oder } OP^* = \frac{n}{\frac{n-1}{OC} - \frac{1}{OP}}$$

Hieraus erhellt sofort dass die Entfernung OP^* unabhängig ist von der Lage des Punktes x wo der einfallende Strahl die brechende Fläche trifft und ausser vom Brechungsindex n und dem Radius OC nur abhängt von OP. D. h. mit anderen Worten, wenn man durch einen willkürlich gewählten Radius OC der brechenden Fläche eine Ebene legt und in dieser Ebene einen Strahl auf die Fläche fallen lässt, so besteht zwischen den in der Richtung jenes Radius gemessenen Entfernungen seines Schnittpunktes mit dem einfallenden und dem gebrochenen Strahle vom Punkte O nämlich OP und OP^* eine Beziehung, welche von dem Einfallspunkte unabhängig ist. Wenn also mehrere einfallende Strahlen die Richtung des Radius OC in demselben Punkte P schneiden so schneiden die entsprechenden gebrochenen Strahlen jene Richtung gleichfalls in demselben Punkte P^*. Dies gilt aber von den durch P gehenden Strahlen in jeder durch CO oder CP gelegten Ebene also von allen Strahlen, die überhaupt von P ausgehend auf die Fläche fallen können.

Dieser Hauptsatz der Dioptrik lässt sich sehr zweckmässig noch anders ausdrücken wenn man zuvor einige kurze Bezeichnungen ein-

führt. Ein System von Lichtstrahlen, deren Richtungen sich alle in einem Punkte schneiden, heisse ein „homocentrisches Strahlenbündel“ und der gemeinsame Schnittpunkt dieser Richtungen heisse das Centrum. Das Centrum soll für ein einfallendes homocentrisches Bündel als „reell“ bezeichnet werden, wenn es von der brechenden Fläche aus gerechnet auf der Seite liegt von woher die Strahlen kommen, denn in diesem Falle kann das Centrum des einfallenden Bündels ein wirklicher Ausgangspunkt von Lichtstrahlen sein. Liegt der Durchschnittspunkt der Richtungen der einfallenden Strahlen von der brechenden Fläche nach der Seite, wohin die Strahlen gehen, so werde es als „virtuell“ bezeichnet, da er in diesem Falle nur der Durchschnittspunkt der verlängerten Strahlenrichtungen ist, welchen die physischen Strahlen, da sie durch die Brechung abgelenkt werden, nie wirklich erreichen. Um den Ausdruck abzukürzen soll künftig immer die Seite, woher die Strahlen kommen, als „vorn“, die Seite, wohin sie gehen, als hinten bezeichnet werden. Handelt es sich um ein homocentrisches Bündel gebrochener Strahlen, so muss man umgekehrt das Centrum als „reell“ bezeichnen, wenn es von der brechenden Fläche aus nach hinten liegt, denn in diesem Falle können die Strahlen sich im Centrum wirklich vereinigen. Als „virtuell“ ist das Centrum eines gebrochenen Strahlenbündels im Falle zu bezeichnen, wo er vor der Trennungsfläche liegt, denn es ist hier nur der geometrische Vereinigungspunkt der über die Einfallspunkte hinaus verlängerten Strahlenrichtungen, aus welchem sie nicht wirklich gekommen sind, da sie vor der Brechung andere Richtungen hatten.

Unter Anwendung dieser Bezeichnungen können wir den oben abgeleiteten Satz kurz dahin ausdrücken, ein auf den durchsichtigen Kugelabschnitt fallendes homocentrisches Strahlenbündel wird in ein homocentrisches gebrochenes verwandelt und es liegt das Centrum des letzteren auf einer durch das Centrum des einfallenden und den Mittelpunkt der Kugelfläche gezogenen Geraden in einer Entfernung OP^* von der Trennungsfläche, welche zur Entfernung des Centrums der einfallenden Strahlen von der Fläche (OP) in einer einfachen Beziehung steht die durch die obige Gleichung

$$\frac{n-1}{OC} = \frac{1}{OP} + \frac{n}{OP^*}$$

dargestellt wird. Dieser Satz gilt jedoch nur unter der oben ausdrücklich gesetzten Bedingung, dass alle einfallende Strahlen mit ihren respectiven Einfallslothen nur kleine Winkel bilden und dass auch die Centriwinkel, welche die Einfallslothe mit der durch das

Centrum des einfallenden Bündels und den Mittelpunkt der Kugel gezogenen Geraden (CP) bilden, nur klein sind. Man muss also, um dies noch einmal hervorzuheben., sich stets einen sehr kleinen Bruchtheil der gesammten Kugeloberfläche als brechende Fläche verwendet denken und man darf nur solche homocentrische einfallende Bündel in Betracht ziehen, deren Centra einerseits um ein ziemlich grosses Vielfaches der grössten Sehne SS^1 des durchsichtigen Kugelabschnittes von demselben abstehen und andererseits nicht weit seitwärts liegen von der Richtung eines beliebigen, durch einen Punkt der durchsichtigen Oberfläche gezogenen Kugelradius.

Die Centra eines einfallenden und eines gebrochenen Strahlenbündels in ihrer durch den bewiesenen Satz festgestellten Correlation nennt man „Objektpunkt“ und „Bildpunkt“, auf welche Bezeichnungen auch die Bestimmungen reell und virtuell in ihrer oben erklärten Bedeutung Anwendung finden. Man kann also auch sagen: Durch Brechung an einer sphärischen Trennungsfläche zwischen zwei ungleichartigen durchsichtigen Mitteln entsteht immer unter Voraussetzung jener einschränkenden Bedingungen für jeden (reellen oder virtuellen) Objektpunkt ein (reeller oder virtueller) Bildpunkt. Objektpunkt und Bildpunkt liegen stets mit dem Kugelmittelpunkt auf einer Geraden. Diese Gerade sofern sie durch die Lage des Objektpunktes schon gegeben ist heisse die Centrallinie desselben.

Wir wollen künftig immer die in der Centrallinie gemessene Entfernung eines Objektpunktes von der brechenden Fläche durch p und die in derselben Linie gemessene Entfernung des Bildpunktes mit p^* bezeichnen. Sofern der Schnittpunkt der Centrallinie mit dem brechenden Kugelabschnitte für die Messung beider Grössenarten den Ausgangspunkt bildet und wir die Objektabstände nach vorn, die Bildabstände nach hinten positiv rechnen entspricht zufolge der obigen Verabredungen ein positiver Werth von p einem reellen Objektpunkt ein negativer einem virtuellen und ebenso entspricht einem positiven Werthe von p^* ein reeller Bildpunkt einem negativen ein virtueller. Diese Feststellungen schliessen noch die mit ein, dass der durch r zu bezeichnende Kugelradius als positive Grösse in die Formel eingesetzt werden muss wenn der Mittelpunkt auf der Seite des zweiten Mediums von der Trennungsfläche liegt, d. h. wenn diese dem ersten Medium ihre konvexe Seite zukehrt im andern Falle ist die Grösse r als negative einzuführen. Mit Anwendung dieser Bezeichnungen lautet die Grundgleichung

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{n}{p^*} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Da hiernach der Werth von p^* nur von p ausser von den Konstanten des Medienpaares abhängt, so entspricht einem System von Objektpunkten, die in gleicher Entfernung von dem brechenden Kugelabschnitte d. h. auf einer dazu koncentrischen Kugelschale liegen, ein System von Bildpunkten, welche gleichfalls sämmtlich gleiche Entfernung vom brechenden Kugelabschnitte haben also gleichfalls auf einer zu ihm koncentrischen Kugelschale liegen. Es liegen auch je zwei entsprechende Objekt- und Bildpunkte auf derselben Centrale oder anders ausgedrückt: Die sämmtlichen Verbindungslinien der Objektpunkte mit ihren entsprechenden Bildpunkten schneiden sich im Mittelpunkte der Kugel, von welcher die brechende Fläche ein Abschnitt ist. Ein System von Objektpunkten nennt man überhaupt ein „Objekt" und das zugehörige System von Bildpunkten sein „Bild". Liegt also ein Objekt auf einer zur brechenden Fläche koncentrischen Kugelschale so liegt auch sein Bild ganz auf einer eben solchen. Auch sieht man ohne Weiteres dass das Bild und Objekt einander geometrisch ähnlich sind und dass sie zueinander perspektivisch liegen bezüglich zum Mittelpunkt der Kugel. Unter perspektivischer Lage zueinander versteht man diejenige Lage zweier räumlicher Gebilde zu einander bei welcher die sämmtlichen Verbindungslinien zweier entsprechender Punkte der beiden Gebilde sich in einem und demselben Punkte schneiden. Selbstverständlich hat die Möglichkeit zwei räumliche Gebilde in perspektivische Lage zu einander zu bringen gewisse Eigenschaften der beiden Gebilde zur Voraussetzung. Beiläufig gesagt gilt der Satz dass Bild und Objekt zu einander perspektivisch liegen unabhängig von der Bedingung dass sie auf koncentrischen Kugelschalen liegen. Dagegen hat die geometrische Aehnlichkeit nur unter dieser Bedingung statt.

Gemäss den immer erfüllt zu denkenden einschränkenden Bedingungen kann der brechende Kugelabschnitt nach allen Seiten nur sehr kleine Centriwinkel umspannen und weicht also nur wenig von einem Stück einer ihn berührenden Ebene ab. Ebenso können aber auch die ein Objekt und das Bild enthaltenden Stücke koncentrischer Kugelschalen nur sehr kleine Abschnitte der ganzen Kugel sein und mithin ebenfalls annäherungsweise als Stücke von Ebenen betrachtet werden, welche der als eben betrachteten Trennungsfläche parallel sind. Gestatten wir uns diese Vereinfachung, so spricht sich unser Satz dahin aus, dass von einem Objekt, das in einem zur Trennungsfläche parallelen ebenen Flächenstück ausgebreitet ist, durch Brechung ein optisches Bild entsteht, das gleichfalls in einem zur Tren-

nungsfläche parallelen ebenen Flächenstücke ausgebreitet ist. Bild und Object sind geometrisch ähnliche ebene Punktsysteme und entsprechende lineare Abmessungen beider verhalten sich offenbar wegen der perspektivischen Beziehung zum Centrum der Kugel wie die Abstände der Objektebene und der Bildebene von diesem Centrum oder gemäss der oben eingeführten Bezeichnungsweise wie $p + r$ zu $p^* - r$.

Betrachten wir jetzt den besonderen Fall wo ein Objektpunkt in unendlicher Ferne liegt, wo also das von ihm ausgesandte Strahlenbündel aus lauter parallelen Strahlen besteht, so können wir den Abstand des Bildpunktes leicht berechnen, wenn wir für p den Werth ∞ in unsere Formel (1) einsetzen. Sie wird dadurch

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{\infty} + \frac{n}{p^*},$$

woraus sich für p^* der besondere Werth

$$\frac{nr}{n-1}$$

berechnet den wir mit f^* bezeichnen und die „zweite Hauptbrennweite" des Medienpaares nennen wollen. Denken wir in dieser bestimmten Entfernung

$$\frac{nr}{n-1}$$

oder f^* von der Trennungsfläche ein zu ihr paralleles ebenes Flächenstück, so muss in ihm jedes Bild eines unendlich entfernten Objektes was den sonstigen Bedingungen entspricht zu finden sein. Wir nennen diese Ebene die „zweite Hauptbrennebene".

Fragen wir zweitens: Wie weit von der Fläche muss ein Objektpunkt abstehen, wenn ein von ihm ausgegangenes Strahlenbündel durch die Brechung in ein parallelstrahliges verwandelt werden soll, dessen Vereinigungspunkt also erst in unendlicher Ferne gefunden wird? Diese Aufgabe sucht einen Werth von p welchem ein unendlich grosser Werth von p^* entspricht. Man hat also nur in die Grundformel für p^* den Werth ∞ einzusetzen und dann p zu berechnen. Es ergiebt sich aber aus

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{n}{\infty} \quad p = \frac{r}{n-1}.$$

Diesen Werth von p wollen wir die „erste Hauptbrennweite" nennen und durch f bezeichnen. Legt man demnach in diese Entfernung f von der Trennungsfläche ein ihr paralleles ebenes Flächenstück so hat man den geometrischen Ort aller Objektpunkte, deren Bildpunkte in unendliche Entfernung fallen, diese Ebene hiesse die

erste Hauptbrennebene. Es ist für ein Medienpaar vor Allem charakteristisch ob seine Hauptbrennweiten positiv oder negativ sind. Das erstere ist offenbar der Fall wenn $n > 1$ und r positiv ist oder wenn $n < 1$ und zugleich r negativ ist, d. h. nach den obigen Festsetzungen stets dann, wenn die Trennungsfläche ihre konvexe Seite dem schwächer brechenden Medium zukehrt, mag man dies als erstes oder als zweites Medium nehmen. Im andern Falle sind f und f^* negativ. Im ersten Falle entsteht von einem unendlich fernen Objekte in der Entfernung f^* hinter der Trennungsfläche ein reelles Bild im zweiten Falle werden parallelstrahlig auffallende Bündel in divergirende verwandelt deren Richtungen sich nur geometrisch rückwärts verlängert in je einem Punkte schneiden in einer Entfernung f^* von der Trennungsfläche, welcher ein negativer Werth zukommt. Ein Mediensystem mit positiven Brennweiten heisst ein „kollektives" eines mit negativen Brennweiten ein „dispansives".

Durch Einführung der Grössen f und f^* kann man der Grundformel eine neue Gestalt geben, die im weiteren Verlaufe der Untersuchung zur Anwendung bequemer ist als die ursprüngliche. In der That haben wir gesehen dass

$$f = \frac{r}{n-1} \text{ oder } \frac{1}{f} = \frac{n-1}{r}$$

ist und ferner dass

$$f^* = \frac{nr}{n-1} = nf, \text{ also } n = \frac{f^*}{f}$$

ist wenn wir also in die Formel

$$\frac{n-1}{r} = \frac{1}{p} + \frac{n}{p^*} \text{ für } \frac{n-1}{r}$$

und n ihre in f und f^* ausgedrückten Werthe einsetzen, so ergiebt sich

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{f^* : f}{p^*} \text{ oder } 1 = \frac{f}{p} + \frac{f^*}{p^*} \quad \ldots\ldots. (2)$$

Kennt man also für ein durch einen Kugelabschnitt getrenntes Medienpaar die beiden Hauptbrennweiten, welche sich leicht empirisch ermitteln lassen, so kann man ohne das Brechungsverhältniss und den Radius in Rechnung zu ziehen für jeden Objektabstand p den Bildabstand p^* berechnen.

Für ein kollektives System (wo f und f^* positive Werthe haben) ergiebt die Formel, dass jedem reellen Objekte dessen Abstand $p > f$ ist ein reelles Bild entspricht dessen Abstand $p^* > f^*$ ist. Man kann ferner noch folgenden Satz aus der Formel leicht herauslesen: Wenn man einen reellen Objektpunkt mit konstanter Geschwindigkeit auf einer beliebigen Centrallinie aus sehr grosser Ferne gegen die

erste Brennebene heranrücken lässt so bewegt sich der Bildpunkt auf derselben Centrallinie von der zweiten Hauptbrennebene aus in der Richtung der Strahlen anfangs nur sehr langsam und dann immer schneller bis er zuletzt mit unendlich grosser Geschwindigkeit die unendliche Ferne erreicht, wenn der Objektpunkt in die erste Brennebene eintritt. Lässt man den reellen Objektpunkt über die erste Brennebene hinaus nach der Fläche wandern (wo dann $p < f$ ist) so taucht der Bildpunkt aus der unendlichen Ferne in der Richtung von woher die Strahlen kommen nunmehr virtuell geworden wieder auf und eilt als solcher dem reellen Objektpunkte nach, den er gerade erreicht, wenn dieser in die Trennungsfläche selbst eintritt. Will man den Objektpunkt in derselben Richtung über die Trennungsfläche hinaus noch weiter wandern lassen, so hat man es nunmehr mit einem virtuellen Objektpunkte d. h. mit dem Centrum eines konvergent auffallenden Strahlenbündels zu thun (p ist negativ zu nehmen). Der Objektpunkt wird jetzt wieder reell (p^* positiv). Er bewegt sich anfangs noch mit grösserer dann aber abnehmender Geschwindigkeit vor dem immer virtuellen Objektpunkt her, von dem er im Centrum der Kugel eingeholt wird. Bei noch weiterem Vorrücken des virtuellen Objektpunktes geht der reelle Bildpunkt mit immer abnehmender Geschwindigkeit hinter ihm her und trifft gerade wieder in der zweiten Brennebene ein, wenn der virtuelle Objektpunkt in unendliche Ferne hinausgerückt ist, was ja in der That so viel heisst, als dass wir wieder wie zuerst ein parallelstrahlig einfallendes Bündel haben. Es giebt also auf jeder Centrallinie eines Medienpaares zwei Punkte wo Objektpunkt und Bildpunkt zusammenfallen nämlich das Centrum und der Schnittpunkt der Centrale mit der Trennungsfläche.

II. Brechung von Strahlenbündeln durch mehrere Trennungsflächen.[1]

Wir wollen uns nun ein System von beliebig vielen brechenden Medien vorstellen. Jedes folgende sei vom vorhergehenden getrennt durch einen Kugelabschnitt, welcher nur einen sehr kleinen Bruchtheil der gesammten Kugeloberfläche ausmacht. Die sämmtlichen Centra dieser Kugeloberflächen sollen auf einer geraden Linie liegen, welche die Axe des Systems heissen mag. Endlich setzen wir noch fest, dass die wirklich durchsichtigen Theile der Kugelabschnitte in

1 Die Darstellung dieses ganzen Paragraphen hält sich an den Gedankengang, der zuerst von C. Neumann entwickelt ist, in einer Abhandlung über „Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystemes“. Leipzig 1866.

ihren Mitten oder „Scheiteln" von der Axe durchsetzt werden, so dass jeder Kugelabschnitt nahezu gelten kann als ein Stück einer zur Axe senkrechten Ebene. Ein solches System haben wir schon in der Einleitung als ein „centrirtes" System sphärischer Trennungsflächen zwischen einer Reihe von brechenden Medien bezeichnet.

Stellen wir uns nun im ersten Medium ein einfallendes d. h. auf die erste Trennungsfläche zugehendes homocentrisches Strahlenbündel vor dessen Centrum in einigem Abstande von der ersten Fläche und nicht weit seitwärts von der Axe liegt, so entspricht dasselbe den Bedingungen, welche zur Anwendung der soeben entwickelten Gesetze auf die erste Brechung die es erleiden wird genügen. Nehmen wir also ein ganzes System solcher Strahlenbündel an, deren Centra alle in einer zur Axe senkrechten Ebene liegen, so wird durch die erste Brechung ein System von Strahlenbündeln entstehen deren Centra ebenfalls in einer zur Axe senkrechten Ebene liegen. Kurz ausgedrückt wird die erste Brechung von einem ebenen zur Axe senkrechten Objekte ein (reelles oder virtuelles) Bild erzeugen. Auch werden Objekt und Bild zueinander perspektivisch sein bezüglich zu einem in der Axe gelegenen Punkte nämlich zum Centrum der ersten Fläche. Dies Bild d. h. das System der Centra der im zweiten Medium sich fortpflanzenden Strahlenbündel kann man aber offenbar auffassen als (reelles oder virtuelles) Objekt für die zweite Brechung, welche die Strahlen beim Uebergange aus dem zweiten ins dritte Medium erleiden. Da das für den neuen Standpunkt als Objekt zu behandelnde Bild unter den gemachten Voraussetzungen auch den Bedingungen entsprechen muss, welche die Anwendung der obigen Regeln auf die zweite Brechung gestatten so wird durch die zweite Brechung abermals ein Bild entstehen, dessen Punkte in einer zur Axe senkrechten Ebene liegen und das perspektivisch zum Objekte also zum ersten Bilde ist bezüglich zu einem ebenfalls in der Axe gelegenen Punkte nämlich zum Centrum der zweiten Fläche. Es gilt nun folgender Satz der so leicht einzusehen ist, dass der Beweis nicht ausgeführt zu werden braucht: wenn von drei Punktsystemen A, B, C welche in drei einander parallelen Ebenen liegen das erste und das dritte zum zweiten perspektivisch sind bezüglich zu zwei Punkten, welche beide in ein und derselben zu den drei Ebenen senkrechten Geraden liegen dann ist auch das zweite zum ersten perspektivisch gelegen bezüglich auf einen in derselben Geraden gelegenen Punkt. Es ist also das durch die zweite Brechung erzeugte Bild zum ursprünglichen Objekte perspektivisch gelegen bezüglich auf einen in der Axe befindlichen Punkt. Durch weitere Anwen-

dung desselben Satzes auf die folgenden Brechungen kommen wir zu dem Schlusse: das Ergebniss der sämmtlichen aufeinanderfolgenden Brechungen so viele ihrer auch stattfinden mögen, ist ein Bild dessen Punkte in einer zur Axe senkrechten Ebene liegen und welches perspektivisch liegt zum ursprünglichen Objekte und da auch dies in einer zur Axe senkrechten Ebene liegt sind das letzte Bild und das ursprüngliche Objekt auch geometrisch ähnlich. Schon nach diesem Resultate kann man den Begriff der Hauptbrennebenen auf das System beliebig vieler brechenden Medien übertragen. Man kann nämlich als zweite Hauptbrennebene diejenige zur Axe senkrechte Ebene definiren, welche das Bild eines unendlich fernen Objektes enthält und als erste Hauptbrennebene diejenige, in welcher das Objekt liegen muss, wenn das schliessliche Bild in unendlicher Entfernung liegen soll. Die Schnittpunkte dieser beiden Ebenen mit der Axe sollen die Hauptbrennpunkte heissen und durch F^* und F bezeichnet werden. Wir schliessen den Fall wo F und F^* in unendlicher Ferne liegen, von den folgenden Betrachtungen aus. Wir können auch sogleich noch den Satz aussprechen, dass das Bild jedes in der Axe gelegenen Objektpunktes ebenfalls in der Axe liegen muss, denn der mit der Axe zusammenfallende Strahl eines solchen einfallenden Bündels geht ohne Aenderung der Richtung durch das ganze System da er auf alle Flächen senkrecht trifft, einer der gebrochenen Strahlen fällt also mit der Axe zusammen und auf ihr muss der Bildpunkt liegen, da er ja auf jedem der gebrochenen Strahlen liegt.

Es soll jetzt bewiesen werden, dass in dem System, mag es sonst beschaffen sein wie es wolle, wenn es nur den vorhin ausgesprochenen Bedingungen genügt, zwei zur Axe senkrechte Ebenen existiren deren erster als Objektebene, die zweite als Bildebene so entspricht, dass zu einem in der ersten beliebig angenommenen Objektpunkte ein Bildpunkt gehört, der in der zweiten Ebene und mit dem Objektpunkt auf derselben zur Axe parallelen Geraden liegt, dass die beiden Punkte sich in derselben durch die Axe gelegten Ebene finden müssen versteht sich von selbst, weil es von jedem als Objekt und Bild zusammengehörigen Paare von Punkten wegen der allgemeinen perspektivischen Beziehung gilt.

Zum Zwecke des Beweises der Existenz zweier solcher Ebenen stellen wir uns vor es sei AA_1 (Fig. 2) die Axe des Systemes und die Kreisbogen S_1S_1, S_2S_2, S_3S_3 seien die Schnitte der brechenden Flächen mit der Ebene der Zeichnung, deren Zahl natürlich auch grösser als 3 gedacht werden darf. Das erste Medium haben wir uns also links von S_1S_1 zu denken das letzte (hier das 4.)

rechts von $S_3 S_3$. Die Punkte F und F^* seien der erste und zweite Brennpunkt des Systemes. Wir denken uns nun einen einfallenden Strahl Px parallel zur Axe. Diesem muss als gebrochener im letzten Medium ein Strahl entsprechen, dessen Richtung nothwendig durch den Brennpunkt F^* geht, da der Strahl Px betrachtet werden kann

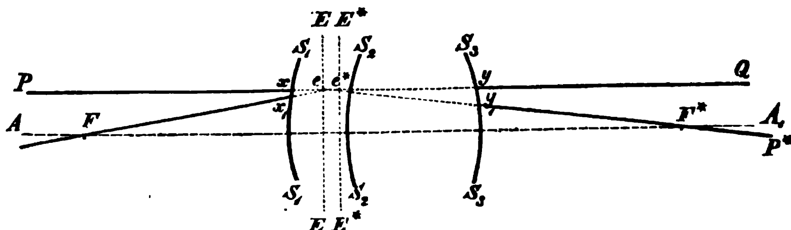


Fig. 2.

als Bestandtheil eines Bündels, das von einem in der Axe unendlich weit abstehenden Punkte ausgegangen ist, und dessen Bild folglich F^* ist. Ferner liegt der gebrochene Strahl nothwendig mit dem einfallenden und mit der Axe in einer Ebene, d. h. in der Ebene der Zeichnung, die für die sämmtlichen vorkommenden Brechungen „Einfallsebene" ist. Die Richtung dieses Strahles muss demnach die Richtung des einfallenden Strahles nothwendig irgendwo im Endlichen also etwa im Punkte e^* schneiden, da wir den Fall ausdrücklich ausgeschlossen haben, wo das System die Besonderheit hätte, dass einem parallelstrahligen einfallenden Bündel ein parallelstrahliges im letzten Medium entspräche.

Wir denken uns nun zweitens die fortgesetzte Richtung des einfallenden Strahles Px von der letzten Fläche an als einen physischen gebrochenen Strahl yQ und sehen sogleich, dass diesem als einfallender Strahl einer entsprechen muss, der durch den Punkt F geht und der ebenfalls in der Ebene der Zeichnung liegt, da der angenommene gebrochene Strahl yQ Bestandtheil eines nach einem unendlich fernen Bildpunkt in der Axe konvergirenden Bündels sein könnte, welcher dem Punkt F als Objektpunkt entsprechen würde. Der zu yQ gehörige einfallende Strahl muss aber aus den schon ausgeführten Gründen die Richtung yQ resp. PQ im Endlichen treffen, der Schnittpunkt sei beispielsweise e. Es kann also nicht bezweifelt werden, dass auf irgend einer zur Axe parallelen Richtung PQ zwei Punkte e und e^* zu finden seien von denen der eine e Durchschnittspunkt zweier einfallender Strahlen ist und von denen der andere e^* der Durchschnittspunkt der jenen beiden entsprechenden gebrochenen

Strahlen ist. Es bedarf wohl nicht der Ausführung des logischen Beweises dafür, dass zwei solche Punkte in der Beziehung von Objektpunkt und Bildpunkt zueinander stehen, d. h. dass alle Strahlen, welche sich als einfallende im Punkte e schneiden nach erlittenen Brechungen ein homocentrisches Bündel bilden, dessen Centrum e^* ist.

Legen wir nun durch e und e^* zwei zur Axe senkrechte Ebenen EE und E^*E^* so sind es diejenigen, welche in der vorhin angekündigten Wechselbeziehung stehen. Denn wenn man von einem Punkte einer zur Axe senkrechten Ebene weiss, dass sein Bildpunkt in einer bestimmten zweiten zur Axe senkrechten Ebene enthalten ist, so müssen alle Bildpunkte in der letzteren liegen, welche in der ersteren gelegenen Objektpunkten entsprechen. Die allgemein gültige perspektivische Beziehung zwischen Objekt und Bild ergiebt aber sofort noch den Satz, dass einem Punkte der Ebene E als Objektpunkt derjenige Punkt der Ebene E^* als Bildpunkt entsprechen muss, welcher auf einer durch den Objektpunkt zur Axe parallelen Geraden liegt. In der That kann ja der Punkt der Axe, wo sich alle Verbindungslinien der Objektpunkte und ihrer Bildpunkte schneiden hier nur der unendlich ferne Punkt der Axe sein, da sich in ihm zwei dieser Verbindungslinien nämlich PQ und die Axe selbst schneiden. Die beiden soeben definirten Ebenen sollen die erste und zweite „Hauptebene" und ihre Durchschnittspunkte mit der Axe der erste und zweite Hauptpunkt heissen. Diese beiden Punkte sollen gleichfalls mit den Buchstaben E und E^* bezeichnet werden.

Der Abstand des ersten Brennpunktes F von der ersten Hauptebene E heisse die „erste Hauptbrennweite" und werde mit f bezeichnet, ebenso heisse die Entfernung E^*F^* die zweite Hauptbrennweite des Systems und werde mit f^* bezeichnet, f und f^* sind offenbar Grössen, welche für ein bestimmtes System ein für allemal angebbare konstante Werthe besitzen. Ferner wollen wir auch alle anderen Objektabstände, die wie früher mit p bezeichnet werden sollen, von E aus messen und zwar mit der Bestimmung, dass ein positiver Werth von p die Lage des Objektpunktes auf der Seite von E andeute, von wo die Strahlen kommen, ein negativer die Lage auf der Seite von E wohin die Strahlen gehen, diese Bestimmung gilt auch für die Brennweite f. Andererseits sollen die mit p^* zu bezeichnenden Bildabstände von E^* aus gemessen werden und hier soll ein positiver Werth von p^* andeuten, dass der Bildpunkt auf der Seite von E^* liegt, nach welcher die Strahlen hingehen, ein negativer, dass er auf der Seite liegt von wo die Strahlen kommen,

diese letztere Bestimmung ist auch für das Vorzeichen von f^* maassgebend. Es lässt sich nun leicht zeigen, dass zwischen den soeben definirten Grössen, nämlich den Konstanten f und f^* und den Variablen p und p^* dieselbe Gleichung gilt, welche wir für die weiter oben in einem Medienpaare definirten Grössen ähnlicher Bedeutung gültig gefunden haben.

In der That es sei AA_1 (Fig. 3) die Axe des Systems E und E^* seine Hauptebenen resp. Hauptpunkte, F und F^* seine Brennpunkte.

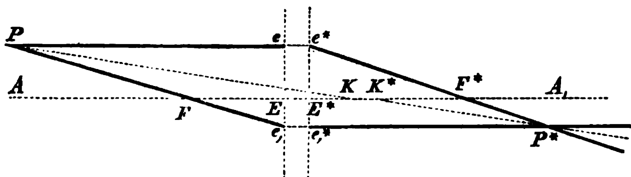


Fig. 3.

Es sei ferner P ein beliebig gewählter nur den allgemeinen Grundbedingungen entsprechender Objektpunkt. Von den einfallenden Strahlen, welche in ihm ihr Centrum haben, wählen wir zwei aus, nämlich denjenigen Pe, welcher der Axe parallel geht und denjenigen PF, welcher den ersten Brennpunkt F enthält. Der erstere könnte einerseits Bestandtheil eines Bündels sein das der Punkt e, wo er die erste Hauptebene trifft zum Centrum hat. Da nun dem Punkt e der in der Verlängerung von Pe gelegene Punkt e^* der zweiten Hauptebene als Bildpunkt entspricht, so muss der entsprechende gebrochene Strahl durch den Punkt e^* gehen. Pe kann aber auch als Bestandtheil eines Bündels betrachtet werden, dessen Strahlen der Axe parallel verlaufen, es muss ihm also als gebrochener ein Strahl entsprechen, dessen Richtung durch den zweiten Brennpunkt F^* geht. Durch diese zwei Bestimmungen ist der zu Pe als einfallendem gehörige gebrochene Strahl vollständig gegeben, er muss in die Richtung der Verbindungslinie von e^* und F^* fallen.

Der zweite gewählte einfallende Strahl PF treffe gehörig verlängert die Ebene E in e_1; dann muss die Richtung des gebrochenen Strahles gemäss der Beziehungen der Hauptebenen durch denjenigen Punkt e_1^* der Ebene E^* gehen, welcher mit e_1 auf einer zur Axe parallelen Geraden liegt. Sie muss aber mit dieser Geraden selbst überdiess zusammenfallen, da der einfallende Strahl durch F geht und ein von F ausgehendes Bündel nach erlittenen Brechungen aus lauter zur Axe parallelen Strahlen besteht. Der Punkt P^* also wo die durch e_1^* zur Axe parallel gezogene Gerade die zuerst kon-

struirte Linie e^*F^* schneidet, ist der Bildpunkt für den Objektpunkt P, denn wo sich zwei gebrochene Strahlen schneiden, welche zweien demselben homocentrisch einfallenden Bündel angehörenden entsprechen, da müssen sich alle schneiden, da ja das gebrochene Bündel ein homocentrisches sein soll.

Man bemerkt nun leicht, dass die Dreiecke Fe_1E und Pe_1e einander ähnlich sind, und ebenso die Dreiecke $E^*e^*F^*$ und $e_1^*e^*P^*$. Es gelten daher die beiden Gleichungen

$$\frac{e_1 E}{e_1 e} = \frac{FE}{Pe} \text{ und } \frac{e^* E^*}{e_1^* e^*} = \frac{E^* F^*}{e^* P^*}$$

oder da gemäss der verabredeten Bezeichnungsweise $FE = f$, $E^*F^* = f^*$, $eP = p$ und $e_1^*P^* = p^*$ ist

$$\frac{e_1 E}{e_1 e} = \frac{f}{p} \text{ und } \frac{e^* E^*}{e_1^* e^*} = \frac{f^*}{p^*},$$

addirt man diese beiden Gleichungen zueinander so ergiebt sich

$$\frac{e_1 E}{e_1 e} + \frac{e^* E^*}{e_1^* e^*} = \frac{f}{p} + \frac{f^*}{p^*},$$

da aber offenbar $e_1 e = e^* e_1^*$ ist, sowie $e^*E^* = eE$ so ist die Summe linker Hand $= 1$ und die Gleichung geht über in

$$1 = \frac{f}{p} + \frac{f^*}{p^*} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2^*)$$

Bezeichnet man die senkrechte Entfernung des Objektpunktes von der Axe $eE = e^*E^*$ (Siehe Fig. 3) mit l und die senkrechte Entfernung des entsprechenden Bildpunktes $e_1E = e_1^*E^*$ mit l^* so erhält man durch Division der soeben zueinander addirten Gleichungen noch die Beziehung $\frac{l}{l^*} = \frac{pf^*}{p^*f}$ oder $l\frac{f}{p} = l^*\frac{f^*}{p^*}$.

Man kann aber auch aus der Aehnlichkeit der beiden Dreieckspaare noch folgern

$$\frac{l}{l^*} = \frac{p - f}{f} = \frac{f^*}{p^* - f^*}$$

und da, wenn die Summe der Dividenden durch die Summe der Divisoren zweier gleicher Quotienten dividirt ein ihnen gleicher Quotient entsteht

$$\frac{l}{l^*} = \frac{p + (f^* - f)}{p^* - (f^* - f)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Die Differenz der beiden Brennweiten spielt in dieser Formel offenbar eine ähnliche Rolle, wie der Halbmesser einer einzigen trennenden Kugelfläche in der S. 11 ausgedrückten Beziehung zwischen der Grösse des Objektes und des Bildes. Wir wollen sie mit ϱ bezeichnen und wollen diese Länge von E und E^* aus auf der Axe abtragen in der Richtung, nach welcher die Strahlen gehen. Wir erhalten so die beiden Punkte K und K^* (Siehe Fig. 3), welche wir

2*

die Knotenpunkte des Systems nennen wollen. Diese Punkte haben offenbar zufolge der Gleichung (3) die Eigenschaft, dass irgend eine lineare Erstreckung eines zur Axe senkrechten Objektes sich zur entsprechenden Erstreckung des Bildes verhält, wie der Abstand des Objektes vom ersten zum Abstande des Bildes vom zweiten Knotenpunkte. Man sieht ferner leicht, dass K^* das Bild von K ist, denn der Werth von ϱ für p und p^* in die Grundgleichung eingesetzt genügt derselben, nur muss man beachten, dass für p die Grösse ϱ mit negativen Vorzeichen einzusetzen ist, da K als Objektpunkt betrachtet hinter der ersten Hauptebene liegt. Hieraus, in Verbindung mit der ersten Eigenschaft der Knotenpunkte, ergiebt sich noch die Folgerung, dass jedem im ersten Medium auf K zielenden Strahle im letzten Medium ein durch K^* gehender dem einfallenden paralleler Strahl entspricht. Der Beweis ist so einfach, dass er nicht ausführlich gegeben zu werden braucht.

Schliesslich mag noch auf ein merkwürdiges Verhältniss der als Brennweiten des Systems (f und f^*) definirten Grössen aufmerksam gemacht werden. Es ist erstens klar, dass die obige Gleichung

$$l\frac{f}{p} = l^*\frac{f^*}{p^*}$$

auch für den Fall nur einer einzigen brechenden Fläche Geltung haben muss, in welchem Falle dann die Entfernungen $f, p, f^* p^*$ sämmtlich von dem Scheitel der brechenden Fläche selbst nach beiden Seiten hin zu messen sind. Wenden wir sie auf die Brechung an der ersten Fläche unseres Systems an, indem wir die dabei geltenden Werthe der Brennweiten mit f_1 und f_2 bezeichnen. Ebenso sollen die jetzt an die Stelle von l, l^*, p und p^* tretenden Grössen mit l_1, l_2, p_1 und p_2 bezeichnet werden. Beziehen wir nun alle Punkte auf ein Koordinatensystem, dessen Ursprung O ein willkührlich gewählter Punkt der als x-Axe angenommenen Axe des Systems ist und dessen xy-Ebene diejenige Ebene ist, welche ausser der Axe noch den betrachteten Objektpunkt und mithin auch den Bildpunkt enthält. Gemäss diesen Verabredungen drücken sich die Grössen $l_1, l_2\ p_1$ und p_2 in den Koordinaten $x_1\ y_1$ des Objektpunktes und den Koordinaten x_2, y_2 des Bildpunktes folgendermaassen aus. Wenn die Abscisse des Scheitels der Fläche mit S bezeichnet wird $l_1 = y_1\ \ l_2 = -y_2$ $p = S - x_1\ \ p_2 = x_2 - S$ und es gilt also zwischen diesen Koordinaten einerseits die Gleichung

$$\frac{f_1}{S - x_1} - \frac{f_2}{S - x_2} = 1, \text{ andererseits } \frac{f_1 y_1}{S - x_1} = \frac{f_2 y_2}{S - x_2}.$$

Sind $\xi_1\ \eta_1$ die Koordinaten eines anderen Objektpunktes und $\xi_2\ \eta_2$ die des entsprechenden Bildpunktes bezogen auf denselben Ursprung und dieselben Axen dann gelten ebenso die Gleichungen

$$\frac{f_1}{S - \xi_1} - \frac{f_2}{S - \xi_2} = 1 \text{ und } \frac{f_1 \eta_1}{S - \xi_1} = \frac{f_2 \eta_2}{S - \xi_2}.$$

Wenn man jetzt von der ersten Gleichung in $x\,y$ die erste in $\xi_1\,\eta_1$ subtrahirt, so ergiebt sich

$$\frac{f_1\,(x_1-\xi_1)}{(S-x_1)\,(S-\xi_1)}=\frac{f_2\,(x_2-\xi_2)}{(S-x_2)\,(S-\xi_2)}.$$

Durch Multiplication der beiden anderen Gleichungen jener Paare erhält man

$$\frac{f_1^2\,y_1\,\eta_1}{(S-x_1)\,(S-\xi_1)}=\frac{f_2^2\,y_2\,\eta_2}{(S-x_2)\,(S-\xi_2)},$$

und wenn man endlich die beiden gefundenen Gleichungen durch einander dividirt so hat man

$$\frac{f_1\,y_1\,\eta_1}{x_1-\xi_1}=\frac{f_2\,y_2\,\eta_2}{x_2-\xi_2}.$$

Nun haben wir oben (S. 12) gesehen, dass die beiden Brennweiten eines Medienpaares ein Verhältniss zu einander haben, welches dem Brechungsindex n beim Uebergange vom ersten ins zweite maassgebend ist. Bekanntlich ist aber

$$n=\frac{v_1}{v_2}$$

wenn v_1 und v_2 beziehlich die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes im ersten und im zweiten Medium bedeuten also

$$\frac{f_2}{f_1}=\frac{v_1}{v_2}.$$

Durch Einsetzen dieses Werthes geht die letzte Gleichung über in

$$\frac{y_1\,\eta_1}{v_1\,(x_1-\xi_1)}=\frac{y_2\,\eta_2}{v_2\,(x_2-\xi_2)}.$$

Gehen wir nun zur Brechung an der zweiten Fläche über, indem wir die von der ersten gelieferten Bildpunkte für die zweite als Objektpunkte ansehen, so müssen offenbar die auf denselben Koordinatenursprung bezogenen Koordinaten x_3, y_3 ξ_3, η_3 des neuen Bildpunktes zu x_2, y_2 und ξ_2, η_2 in derselben Beziehung stehen wie diese zu x_1, y_1 und ξ_1, η_1 d. h. wenn man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im dritten Medium $= v_3$ setzt, muss die Gleichung gelten

$$\frac{y_2\,\eta_2}{v_2\,(x_2-\xi_2)}=\frac{y_3\,\eta_3}{v_3\,(x_3-\xi_3)},\ \text{also auch}\ \frac{y_1\,\eta_1}{v_1\,(x_1-\xi_1)}=\frac{y_3\,\eta_3}{v_3\,(x_3-\xi_3)}.$$

Wendet man dies Verfahren der Reihe nach auf sämmtliche Brechungen an, bezeichnet die auf Strahlen im letzten Medium bezüglichen Grössen mit dem Index * und lässt bei den Grössen, die sich auf Strahlen im ersten Medium beziehen, die Indices ganz fort, so kommt man auf eine Gleichung, welche eine direkte Beziehung zwischen den auf das erste und letzte Medium bezüglichen Grössen herstellt nämlich

$$\frac{y\,\eta}{v\,(x-\xi)}=\frac{y^*\,\eta^*}{v^*(x^*-\xi^*)}.$$

Hier sind x, y und ξ, η die Koordinaten zweier ganz beliebiger Objektpunkte, x^*, y^* und ξ^*, η^* die der entsprechenden Bildpunkte. Wir wählen nun den einen der beiden willkührlichen Objektpunkte in der ersten Hauptebene E, deren Abscissenwerth auch mit dem Buchstaben E bezeichnet werden soll, so dass $x=E$ wird. Seine Ordinate y sei h, dann sind offenbar die Koordinaten des Bildpunktes $x^*=E^*$ (wenn der Buchstabe E^* ebenfalls zur Bezeichnung des Abscissenwerthes der Ebene

E^* gebraucht wird) und $y^* = h$. Die Koordinaten ξ und η des zweiten Objektpunktes wollen wir nun durch die andern früher gebrauchten Grössen ausdrücken und haben dann

$$\xi = E - p,\ \eta = l \text{ und } \xi^* = E^* + p^*,\ \eta^* = -l\frac{p^* f}{p f^*}.$$

Dass die Ordinate des anderen Bildpunktes nicht $= -h$ sondern $= h$ zu setzen ist hat darin seinen Grund, dass wir sie nicht erst als ein l^* aus dem entsprechenden l berechnet haben. Durch Einsetzen dieser 8 Werthe in die Formel ergiebt sich

$$\frac{h\,.\,l}{v\,(E - E + p)} = -\frac{h\,l\,\frac{p^* f}{p f^*}}{v^*(E^* - E^* - p^*)} \text{ oder } v f = v^* f^*.$$

in Worten die beiden Brennweiten des Systems verhalten sich umgekehrt wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichtes im ersten und letzten Medium. Sind also diese beiden Medien ein und dasselbe, wie das bei Fernrohren, Mikroscopen etc. der Fall ist, wo die Strahlen aus Luft kommen und zuletzt wieder in Luft gehen, so sind die beiden Brennweiten einander gleich.

Bei einem der direkten Beobachtung überall zugänglichen Systeme kann man die Lage der optischen Cardinalpunkte auf der Axe leicht empirisch bestimmen. Die Aufgabe besteht offenbar darin die Entfernungen der 4 Punkte F, E, E^*, F^* von einem willkührlich gewählten Ausgangspunkt in der Axe zu finden. Man muss also für zwei Objektpunkte die Koordinaten x, y und ξ, η, sowie auch die Koordinaten ihrer Bildpunkte x^*, y^* und ξ^*, η^* bezogen auf den willkührlichen Ursprung und die Axe des Systems als x-Axe, indem man die Bildpunkte auf geeignet gestellten Schirmen zur Darstellung bringt. Man beachte nun, dass, wenn man die Abscissen der Cardinalpunkte durch die Buchstaben F, E, E^*, F^* wie sie selbst bezeichnet, die Gleichung

$$\frac{f}{p} + \frac{f^*}{p^*} = 1$$

für das erste Paar von konjungirten Punkten übergeht in

$$\frac{E - F}{E - x} + \frac{F^* - E^*}{x^* - E^*} = 1$$

und die Gleichung

$$l\frac{f}{p} = l^*\frac{f^*}{p^*} \text{ in } \frac{(E - F)\,y}{E - x} + \frac{(F^* - E^*)\,y^*}{x^* - E} = 0.$$

Zwei entsprechende Gleichungen ergeben sich für den zweiten Objekt- und Bildpunkt. Aus diesen 4 Gleichungen, in welchen x, y und x^*, y^* sowie ξ, η und ξ^*, η^* als empirisch bestimmt und mithin bekannt gelten, können die 4 gesuchten Grössen F, E, E^*, F^* berechnet werden. Wenn man mehr als zwei Objekt- und Bildpunkte

empirisch bestimmt ergeben sich einander gegenseitig kontrollirende Bestimmungen der gesuchten Grössen.

Wenn man in dem brechenden System nicht überall bildauffangende Schirme in genau messbaren Lagen aufstellen kann, so ist die zuletzt angedeutete empirische Ermittelung der Brenn- und Hauptpunkte unausführbar. Man kann aber ihre Lage durch Rechnung finden, wenn die maassgebenden Constanten des Systemes bekannt sind. Es sind dies offenbar folgende Grössen: erstens die Brechungsindices der einzelnen Medien, und zwar soll unter dem Brechungsindex eines Mediums derjenige verstanden werden, welcher beim Uebergang von Luft in dies Medium Geltung hat, so dass der Brechungsindex der Luft selbst (die gemeiniglich das erste Medium des brechendem Systems bildet) = 1 zu setzen ist. Diese Brechungsindices sollen der Reihe nach mit $n_0, n_1, n_2, \ldots . n^*$ bezeichnet werden. Zweitens sind es die Entfernungen der Scheitel der brechenden Flächen in der Axe von irgend einem darin gewählten Anfangspunkt. Diese Grössen wollen wir der Reihe nach mit $S_1, S_2, \ldots . S^*$ bezeichnen ihre Anzahl ist um 1 kleiner als die Anzahl der Grössen n. Drittens müssen bekannt sein die Grössen $C_1 - S_1$, $C_2 - S_2, \ldots C^* - S^*$, wo unter C_1, C_2 etc. die Entfernungen der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen von dem willkührlich gewählten Anfangspunkte verstanden sind, Die Differenz $C\mu - S\mu$ ist also ihrem absoluten Werthe nach der Halbmesser der μ^{ten} Trennungsfläche. Die Differenz hat aber ein charakteristisches Vorzeichen und zwar das positive, wenn der Mittelpunkt hinter, das negative, wenn er vor dem Scheitel liegt, oder mit anderen Worten der Radius ist in die Rechnung mit positivem Zeichen einzuführen, wenn die ankommenden Strahlen auf die konvexe Seite der Fläche, mit negativem wenn dieselben auf die konkave Seite fallen. Sind alle diese Grössen gegeben, so ist offenbar das System optisch vollständig charakterisirt und es muss also auch möglich sein die Lage der Hauptpunkte und Brennpunkte in der Axe zu bestimmen, deren Existenz durch die früheren Betrachtungen erwiesen ist.

Die Art wie die Lage der Cardinalpunkte aus den gegebenen Constanten zu berechnen ist, hat GAUSS[1] in seinen berühmten „dioptrischen Untersuchungen" sehr elegant entwickelt. Die Wiedergabe dieser Ent-

---

1 GAUSS, Dioptrische Untersuchungen, besonderer Abdr. aus den Abhandl. der Göttinger Gesellschaft. Göttingen 1841. Neuere Darstellungen der Berechnungsweise der Cardinalpunkte finden sich in verschiedenen monographischen Darstellungen: ZEHENDER, Anleitung zum Studium der Dioptrik des Auges. Erlangen 1856; MATTHIESSEN, Grundriss der Dioptrik etc. Leipzig 1877.

wicklung würde indessen hier zu viel Raum in Anspruch nehmem und kann um so eher hier unterlassen werden, als diese Entwickelung mit aller Ausführlichkeit und Strenge in dem in medicinischen Fachkreisen weit verbreiteten Handwörterbuch der Physiologie von Listing[2] dargestellt ist. Wir begnügen uns daher damit die Rechnungsregel unbewiesen hier wiederzugeben. Man schreibe sich die charakteristischen Constanten des Systemes in folgender Ordnung nieder, wobei die Anzahl der Flächen m und also die der Medien $m+1$ sein soll

$$\begin{array}{llll}
n_0 & & & \\
 & C_1 - S_1 & & \\
n_1 & & S_2 - S_1 & \\
 & C_2 - S_2 & & \\
n_2 & & S_3 - S_2 & \\
 & C_3 - S_3 & & \\
n_3 & & & \\
\vdots & & & \\
 & & S^* - S_{m-1} & \\
n_{m-1} & C^* - S^* & & \\
n^* & & &
\end{array}$$

Hierauf bilde man daraus folgende Grössen

$$u_0 = -\frac{n_1 - n_0}{C_1 - S_1} \qquad t_1 = \frac{S_2 - S_1}{n_1}$$

$$u_1 = -\frac{n_2 - n_1}{C_2 - S_2} \qquad t_2 = \frac{S_3 - S_2}{n_2}$$

$$u_2 = -\frac{n_3 - n_2}{C_3 - S_3}$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$u_{m-1} = -\frac{n_{m-1} - n_{m-2}}{C_{m-1} - S_{m-1}} \qquad t^* = \frac{S^* - S_{m-1}}{n_{m-1}}$$

$$u^* = -\frac{n^* - n_{m-1}}{C^* - S^*}$$

Diese Grössen sind hierauf in die Reihenfolge

$$u_0,\ ,\ t,\ ,\ u_1,\ ,\ t_2\ ,\ u_2\ ,\ \ldots\ldots\ u_{m-1},\ t^*,\ u^*$$

zu bringen und aus den Elementen dieser Reihe sind vier Euler'sche Kettenfunktionen folgendergestalt zu bilden. Im allgemeinen bildet sich eine solche aus einer beliebigen Reihe von Elementen, in dem mit dem Produkte der sämmtlichen Elemente multiplicirt wird eine Summe, welche aus einer Reihe von Summandengruppen gebildet ist. Die erste Gruppe ist die 1 die zweite besteht aus den reciproken Werthen der Produkte von je zwei benachbarten Elementen; die dritte Gruppe aus den reciproken Werthen der Produkte derjenigen Paare von Nennern der zweiten Gruppe die kein gemeinsames Element haben, die vierte aus den reci-

1 Wagner's Hwb. Bd. IV. Artikel Dioptrik des Auges.

proken Werthen der Produkte von je drei Nennern der zweiten Gruppe ohne gemeinsames Element in den ferneren Gruppen würden die Produkte von je 4, je 5 etc. jener Nenner als Nenner auftreten. Offenbar bricht die Bildung dieser Gruppen einmal von selbst ab, wenn nicht mehr die erforderliche Anzahl von Produkten ohne gemeinschaftliches Element zu finden ist.

Wenn wir eine solche Funktion einfach durch die eingeklammerte Reihe der Elemente bezeichnen, so hätten wir beispielsweise

$$(a) = a$$

$$(a, b) = ab\left(1 + \frac{1}{ab}\right)$$

$$(a, b, c) = abc\left(1 + \frac{1}{ab} + \frac{1}{bc}\right)$$

$$(a, b, c, d) = abcd\left(1 + \frac{1}{ab} + \frac{1}{bc} + \frac{1}{cd} + \frac{1}{abcd}\right)$$

$$(a, b, c, d, e) = abcde\left(1 + \frac{1}{ab} + \frac{1}{bc} + \frac{1}{cd} + \frac{1}{de} + \frac{1}{abcd} + \frac{1}{bcde} + \frac{1}{abde}\right)$$

$$\vdots \qquad \vdots$$

Für die Rechnung ist es indessen bequemer die Klammer aufzulösen, indem man das Produkt den sämmtlichen Elemente mit 1 und den sämmtlichen Brüchen multiplicirt.

Nach diesem Schema bilde man aus den mit u und t bezeichneten Grössen folgende 4 Kettenfunktionen

$$g = (u_0, t_1, u_1, t_2, u_2 \ldots . u_{m-1}, t^*)$$
$$h = (t_1, u_1, t_2, u_2 \ldots . u_{m-1}, t^*)$$
$$k = (u_0, t_1, u_1, t_2, u_2 \ldots . u_{m-1}, t^*, u^*)$$
$$l = (t_1, u_1, t_2, u_2 \ldots . u_{m-1}, t^*, u^*)$$

Mit Hilfe dieser 4 Grössen berechnet sich die Entfernung, in welcher die erste Hauptebene hinter der ersten Trennungsfläche des Systems liegt

$$E - S_1 = -\frac{n_0(1 - l)}{k}$$

und die Entfernung in welcher die zweite Hauptebene vor der letzten Fläche des Systems liegt

$$S^* - E^* = -\frac{n^*(1 - g)}{k}$$

sowie ferner die Entfernung, in welcher der erste Brennpunkt vor der ersten Trennungsfläche zu finden ist nämlich

$$S_1 - F = -\frac{n_0 \cdot b}{k}$$

und die Entfernung, in welcher der zweite Brennpunkt hinter der letzten Trennungsfläche liegt

$$F^* - S^* = -\frac{n^* \cdot g}{k}.$$

Die Lage der Knotenpunkte ergiebt sich dann leicht nach der oben gegebenen Definition derselben.

ZWEITES CAPITEL.

Anatomische Voraussetzungen.

I. Die Hüllen des Augapfels.

Wie aus der Anatomie bekannt, ist im Augenhintergrund eine Nervenausbreitung der Netzhaut zu finden, von welcher später gezeigt werden wird, dass sie den in der Einleitung gestellten Bedingungen entspricht. Vor ihr liegen 4 durchsichtige Medien, nämlich zunächst die sogenannte Glasfeuchtigkeit oder der Glaskörper, die Linse, die wässrige Feuchtigkeit und endlich die Hornhaut, welche im Augenlidspalt zu Tage tretend, den Lichtstrahlen aus der Luft den Eintritt gestattet, so dass dieselben durch sie, die wässrige Feuchtigkeit, die Linse und den Glaskörper zur Netzhaut vordringen können, indem sie beim Uebergang von einem Medium zum andern im Allgemeinen eine Brechung erleiden.

Die durchsichtigen Körper des Auges sind umschlossen von drei grösstentheils einander unmittelbar anliegenden Hüllen. Die äusserste Hülle ist die harte Haut des Auges tunica sclerotica, von welcher die schon erwähnte durchsichtige Hornhaut selbst den vordersten Abschnitt bildet. Die Sclerotica ist aus weissem ziemlich undurchsichtigem Sehnengewebe gebildet und durchschnittlich etwa 0,5 mm. dick. Sie geht in die Hornhaut stetig über, deren Struktur jedoch von der ihrigen wesentlich abweicht, wie aus der Histiologie bekannt ist. Die äussere Oberfläche der Sclerotica ist annähernd eine Kugeloberfläche, doch ist die Abweichung schon mit dem Augenmaasse bemerkbar. Hinten, der Hornhaut gegenüber, ist nämlich die Sclerotica etwas abgeplattet, so dass die grössten Durchmesser von etwa 23—26 mm. in die Aequatorialebene fallen. Es sei hier ein für allemal bemerkt, dass wir zur Orientirung am Augapfel die geographische Bezeichnungsweise anwenden wollen. Diejenige Gerade, welche vom Hornhautscheitel zu dem von ihm am weitesten abstehenden Punkte der Oberfläche geht, und um welche die Theile des Auges sehr annähernd symmetrisch liegen, heisse die „Axe des Auges“, ihre Enden die „Pole“. Jede durch die Axe gelegte Ebene heisse eine „Meridianebene“ des Auges, und die im Mittelpunkt der Axe zu ihr senkrechte Ebene die „Aequatorialebene“.

Die Hornhautfläche bildet geometrisch nicht die stetige Fort-

setzung der Scleroticaoberfläche, sondern ist merklich convexer, was man schon am Auge des Lebenden sehen kann. Daher kommt es, dass, trotz der Abplattung am hinteren Pole, doch die Axe von Pol zu Pol gemessen, etwa gerade so lang ist wie der grösste Aequatorialdurchmesser, nämlich 23—26 mm.

Die Hornhaut ist auf ihrer Vorderfläche mit einem Plattenepithel bekleidet, das die Fortsetzung des Epithels ist, welches den ganzen Conjunktivasack auskleidet. Die hintere Fläche der Hornhaut ist noch mit einer besonderen Membran, der sogenannten membrana Descemetii, überzogen, welche sich durch ihre Widerstandsfähigkeit gegen Lösungsmittel, besonders kochendes Wasser, auszeichnet. Die hintere Seite der Descemet'schen Haut ist mit einer Schicht von platten Epithelzellen belegt.

Die zweite Hülle des Augapfels bildet die sogenannte tunica uvea. Sie ist ausgezeichnet einerseits durch grossen Gefässreichthum und andererseits durch überall eingelagerte Pigmentzellen, die auf der inneren Oberfläche eine zusammenhängende Schicht bilden. Endlich enthält sie an gewissen noch näher zu bezeichnenden Stellen auch glatte Muskelfasern. Alle diese Gewebe sind in ein bindegewebiges Lager eingebettet. Die tunica uvea bildet nicht wie die Sclerotica mit der Hornhaut eine vollständig geschlossene Blase, sondern sie hat vorn ein rundes Loch, die Pupille genannt, dessen Mittelpunkt in der Axe liegt.

Der hintere Abschnitt der uvea, auch tunica chorioidea genannt, liegt der sclerotica in ihrer ganzen Ausdehnung unmittelbar an, ohne jedoch mit ihr verwachsen zu sein. Der vordere Abschnitt, die sogenannte Iris, liegt nicht ebenso der Hornhaut unmittelbar an, sondern tritt hinter dieselbe zurück, wodurch ein freier Raum, die Augenkammer, gebildet wird, in welcher sich die wässrige Feuchtigkeit befindet.

Längs des Parallelkreises, wo die Chorioidea in die Iris übergeht, also entsprechend der Grenze zwischen Sclerotica und Hornhaut, ist die uvea mit der äusseren sehnigen Hülle des Auges verwachsen. Diese Verwachsung ist wesentlich dadurch bedingt, dass an einem mit dem Rande der membrana Descemetii zusammenhängenden Netzwerk elastischer Fasern, welches hier von der Grenze zwischen Hornhaut und Sclerotica ausgeht, glatte Muskelfasern entspringen, die in Meridianrichtungen als Theile der chorioidea weiter laufen und eine stetige Schicht an deren Oberfläche bilden, welche bis gegen den Aequator reicht. Diese Muskelschicht wird der Brücke'sche Muskel oder m. tensor chorioideae genannt. In der vorderen

Parthie dieses Muskels finden sich auch cirkuläre Elemente, welche indessen häufig nach hinten in Meridianrichtungen abbiegen. Dieselbe Zone der chorioidea, welche aussen durch diesen Muskel gebildet wird, erscheint auf der inneren Seite halskrausenartig gefaltet; und zwar laufen diese Falten, plicae ciliares genannt, ungefähr 80 an Zahl, in Meridianrichtungen gegen den Aequator zu flach aus, während sie sich nach vorn höher erheben, so dass ihre Enden einen Kranz von zottenartigen Vorsprüngen bilden, welche den Linsenrand umgeben.

Der vordere Abschnitt der uvea, die Iris, enthält durchweg viel glatte Muskelfasern. Ein Theil derselben bildet einen ringförmigen Wulst um die Pupille herum, die Zusammenziehung dieser Fasern führt zu einer Verengerung des Loches, man bezeichnet daher diesen Muskelring, der auch eine besondere Innervation hat, als einen besonderen Muskel unter dem Namen des „sphincter pupillae“. Von demselben ringförmigen Netzwerke elastischer Fasern, welches den nach hinten ziehenden Bündeln des musculus tensor chorioideae zum Ursprung dient, entspringen Muskelfasern, welche im Allgemeinen in radialen Richtungen in der Iris zum Rande der Pupille verlaufen. Da sie an der harten Haut des Auges ringsum feste Ursprungspunkte haben, so müssen sie durch ihre Verkürzung die Pupille erweitern, daher man dieses System von Muskelfasern unter dem Namen des „dilatator pupillae“ zusammenfasst.

Die dritte Lage der Umhüllung des Augapfels wird von der Ausbreitung des Sehnerven gebildet. Dieser Nerv durchbohrt bekanntlich ein wenig nasenwärts vom hinteren Pol des Auges die sclerotica und chorioidea und geht sofort in eine flächenartige Ausbreitung die sogenannte Netzhaut (tunica retina) über, welche sich der inneren Fläche der chorioidea unmittelbar anlegt, ohne aber mit ihr irgendwie verwachsen zu sein. Diese, hinten wo sie am dicksten ist, etwas über $^2/_{10}$ mm. dicke Membran ist in sehr verwickelter Weise aus nervösen und bindegewebigen Elementen zusammengesetzt, welche letztere ein Lager bilden, um die zarten nervösen Elemente in der für ihre Verrichtung nöthigen Stellung sicher zu erhalten. Da der Bau der Retina erst in dem Abschnitte von den Lichtempfindungen sein physiologisches Interesse erhält, so mag derselbe vorläufig unerörtert blieben. Es genügt hier zu bemerken, dass die nervösen Elemente in der Netzhaut von der Eintrittstelle des Sehnerven an nach vorn immer spärlicher werden und etwas über den Aequator hinaus ganz aufhören und zwar auf der Zone, auf welcher in der chorioidea die Ciliarfalten sich zu erheben anfangen. Da die Aenderung in der Be-

schaffenheit der Netzhaut hier schon dem blossen Auge bemerklich ist und zwar der beginnenden Faltung entsprechend in einer leichtgezackten Grenzlinie, so hat man dieselbe als „ora serrata retinae" bezeichnet. Darüber hinaus setzt sich von der Netzhaut wesentlich nur noch ihre innerste glashelle, anscheinend structurlose Schicht, die sogenannte „membrana limitans interna" fort und bildet, den Ciliarfalten innen folgend, den Ciliartheil der Netzhaut. An den freien Enden der Ciliarfalten angelangt, geht diese Fortsetzung der Netzhaut mit anderen Gebilden eigenthümliche Verbindungen ein, welche alsbald bei der Beschreibung der Linse zu erwähnen sind. Die Netzhaut hat ihr eigenes von dem der chorioidea unabhängiges Gefässsystem, das durch die Verzweigungen einer kleinen im Innern des Sehnerven eintretenden Arterie, der arteria centralis retinae gebildet wird.

II. Die durchsichtigen Körper des Augapfels.

Der von der beschriebenen, aus drei Schichtsystemen bestehenden Hülle umschlossene Hohlraum ist nun von den durchsichtigen Körpern des Auges in folgender Art ausgefüllt: Vorn hinter der Hornhaut, den Raum zwischen ihr und der Iris einnehmend, findet sich, wie schon gesagt, der humor aqueus. Er ist wesentlich Wasser, in welchem die Salze des Blutserums nebst Spuren organischer Stoffe gelöst sind.

Der bei weitem grössere, hintere, von der sclerotica umgebene Abschnitt des Augapfels ist angefüllt mit dem sogenannten „Glaskörper" (humor vitreus). Dieser ist zwar aus festen Lamellen und dazwischen eingeschlossenen Flüssigkeitsmengen eigenthümlich aufgebaut. Doch hat diese Struktur für die physiologische Optik kein Interesse und kann daher hier unerwähnt bleiben. Optisch wirkt der Glaskörper wie ein homogener durchsichtiger Körper. Er ist im Ganzen noch umschlossen von einer strukturlosen Membran der Glashaut, welche der membrana limitans anliegt und längs der ora serrata mit ihr verklebt ist.

Zwischen Glaskörper und wässriger Feuchtigkeit ist noch ein durchsichtiges Gebilde eingeschaltet, das mit seiner Vorderfläche der Iris wenigstens am Pupillarrande unmittelbar anliegt, und das seiner linsenförmigen Gestalt den Namen der Krystalllinse, lens crystallina, verdankt. Die Linse ist etwa von butterartiger Konsistenz, besteht aber, ähnlich einer Zwiebel, aus einer Unzahl von leicht trennbaren Schichten, deren Anordnung in Fig. 4 zu sehen ist, wie sie sich auf

einem ebenen Schnitte durch die Axe etwa zeigen würden. Jede Schicht besteht aus Fasern, welche in der Schicht im allgemeinen radial verlaufen, jedoch gegen den Mittelpunkt konvex umbiegen. Die Fasern jeder Schicht bilden so 5 hyperbolische Büschel mit einigen Nebenbüscheln, wie in Fig. 5 zu sehen ist.

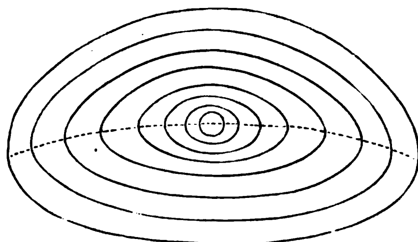


Fig. 4.

Die Linse ist eingeschlossen in eine Kapsel von der Struktur der Glashaut, mit welcher sie auch längs eines Parallelkreises auf der hinteren Fläche verwachsen ist. Es setzt sich ferner an die Linsenkapsel ringsum noch ein ebenfalls strukturloses membranöses Gebilde fest, welches sich zwischen den ganzen Ciliartheil der Netzhaut und die entsprechende Parthie der Glashaut einschiebt. Dies beim Accommodationsvorgang wichtige Gebilde wird

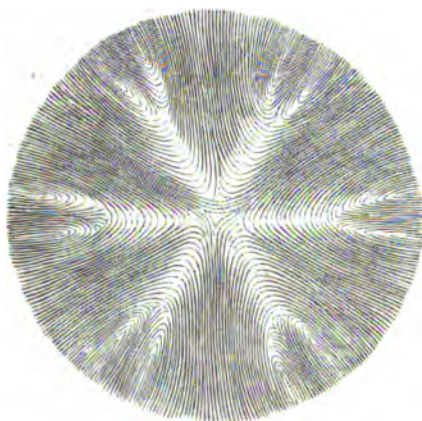


Fig. 5.

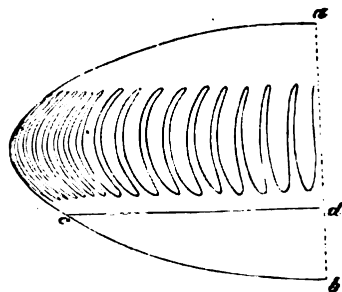


Fig. 6.

Zonula Zinnii genannt und von manchen Anatomen als ein äusseres Blatt der Glashaut angesehen, mit der es jedenfalls, sowie anderseits mit der membrana limitans retinae längs der ora serrata verwachsen ist. Die Zonula Zinnii folgt wie die membrana limitans den Faltungen der chorioidea. Während dann aber die limitans von den freien Enden der Ciliarfalten auf die hintere Fläche der Iris überzutreten und sich da zu verlieren scheint, springt die Zonula, wie schon angedeutet, von den Ciliarfalten auf die Linsenkapsel über, um mit dieser zu ver-

wachsen längs einer der Ciliarfaltung entsprechend wellig gekrümmten Linie. Eine Anschauung von dieser Ansatzlinie giebt die Fig. 6, in welcher ausserdem die Ansatzlinie der eigentlichen Glashaut *cd* zu sehen ist.

Die sämmtlichen, vorstehend in Erinnerung gebrachten, optisch bedeutsamen anatomischen Verhältnisse übersieht man gut in Fig. 7.

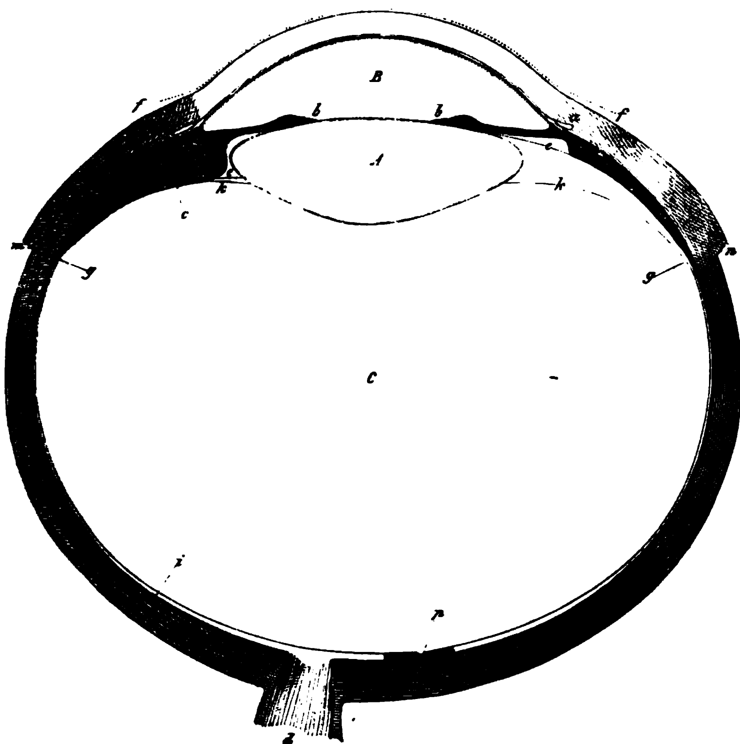


Fig. 7.

Sie stellt einen wagrechten Meridianschnitt eines rechten Auges von oben betrachtet dar und ist der physiologischen Optik von Helmholtz entnommen. Einer besonderen Erklärung bedarf die Figur nach dem Vorstehenden nicht mehr, nur die eine Bemerkung ist noch nöthig, dass angenommen ist der Schnitt treffe rechts die Einsenkung zwischen zwei Ciliarfalten links aber den First einer Falte. Dem entsprechend springt die Zonulae rechts an einen Punkt der Vorderfläche, links an einen Punkt der Hinterfläche der Linsenkapsel.

III. Der intraokulare Druck.[1]

Bei dem annähernd oder vollkommen flüssigen Aggregatzustande des Inhaltes des Augapfels, mit Ausnahme der Linse, kann man füglich nach dem hydrostatischen Drucke fragen, unter welchem dieser Inhalt stehe. Er braucht freilich nicht überall nothwendig gleich zu sein. Vielmehr kann der Druck im Glaskörper höher sein als in der wässrigen Feuchtigkeit, da die im Ganzen gegen die letztere konvexe, durch die Linse und ihre äussere Anheftung (zonula und Glashaut) gebildete Scheidewand durch ihre elastische Spannung einen Theil des Glaskörperdruckes aufwiegen könnte, ohne ihn auf die wässerige Feuchtigkeit zu übertragen. Eine solche mit dem Grade dieser Spannung wachsende Differenz des Druckes im hinteren und vorderen Raume wird sogar theoretisch immer anzunehmen sein. Jedoch kann man keineswegs eine grosse Differenz erwarten, da die Scheidewand zwischen beiden Räumen nur flach gewölbt ist. Beobachtet ist eine solche Differenz von Weber.

Der Druck der wässrigen Feuchtigkeit ist bei Thieren direkter Messung zugänglich, man braucht nur eine feine konische Canüle durch die Hornhaut einzustossen, welche ohne weiteres das Loch in dem zähen elastischen Gewebe hinlänglich dicht schliesst, um eine genaue manometrische Messung zu ermöglichen. Bei der grossen Wichtigkeit dieses Gegenstandes für die Beurtheilung krankhafter Vorgänge haben in neuerer Zeit die Augenärzte viele solche Messungen ausgeführt. Der Werth des intraokularen Druckes hat sich bei verschiedenen Thierspecies übereinstimmend zu etwa 20—30 mm. Quecksilber im Durchschnitt herausgestellt. Wir dürfen also wohl annehmen, dass diese Grösse auch im menschlichen Auge einen ähnlichen Werth besitzt.

Es darf ferner angenommen werden, dass der flüssige Inhalt der inneren Augenräume sich ebenso wie alle anderen thierischen Flüssigkeiten in fortwährenden, wenn auch langsamen Strömen befindet, dass also insbesondere z. B. von dem Kammerwasser beständig etwas nach aussen abgegeben und durch neues ersetzt wird, so dass der

1 In der Darstellung dieses Gegenstandes von mehr pathologischem Interesse folge ich im Ganzen Leber, Handbuch der gesammten Augenheilkunde. Leipzig 1876 und will nach ihm noch folgende Abhandlungen citiren, die mir zum grössten Theil auch selbst vorliegen: C. Weber, Nonnullae disquisitiones etc. Inauguralabhandlung. Marburg 1850; Adamük, Med. Centralblatt 1866. No. 36 u. 1867. No. 28 und Sitzungsber. der Wiener Akad. 1869. Febr.; Grünhagen & v. Hippel, Berliner klin. Wochenschr. 1866. No. 24; Zeitschr. f. rat. Med. 1866. Bd. 28; Arch. f. Ophthalmol. Bd. 14 und 15; Schwalbe, Lymphräume des Auges. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 6; Leber, Arch. f. Ophthalmol. Bd. 19.

konstante Werth des intraokularen Druckes steigen müsste, wenn die Abflussbedingungen ungünstiger oder die Zufuhrbedingungen günstiger werden und vice versa.

Was nun die Abzugswege des Kammerwassers und der Tränkungsflüssigkeit des Glaskörpers betrifft, so ist die auf den ersten Blick nächstliegende Annahme, es seien die Lymphwege, höchst unwahrscheinlich, wenigstens konnten Leber und Schwalbe von der Augenkammer aus die Lymphgefässe nicht injiciren. Auch sieht man diffusionsunfähige Farbstoffe (z. B. Berlinerblau), die man ins Kammerwasser bringt, nie sich in die umgebenden Gefässe verbreiten, während diffusionsfähige, wie Carmin, in die Venen am Rande der Hornhaut eindringen. Die Augenkammer ist also weder mit dem Lymph- noch mit dem Blutgefässsystem in offenem Zusammenhange, sondern sie stellt einen vollständig abgeschlossenen Raum dar, aus welchem nur durch Filtration Flüssigkeit entweichen kann. Es ist bemerkenswerth, dass keine Filtration durch die Hornhaut stattfindet, deren hinteres Epithel offenbar für Wasser undurchdringlich ist. Wenn nämlich dies Epithel entfernt wird, trübt sich die Hornhaut und quillt auf, und sie trocknet ein, wenn man ihre vordere Fläche vor der Benetzung mit Thränen und Bindehautsekret schützt.

Der Ersatz für das abfiltrirte Wasser geschieht natürlich ebenfalls durch Filtration aus den Blutgefässen, in deren arteriellem und wohl auch kapillarem Theile der Druck höher ist als der intraokulare. Dass ein solcher Ersatz während des Lebens wirklich fortwährend stattfindet, beweist die Thatsache, dass ins Blut gebrachte Salze (wie Blutlaugensalz oder Sublimat) schon nach etwa 20′ im Kammerwasser nachzuweisen sind. Im Glaskörper hat man sie nicht auffinden können, wohl weil hier der Ersatz der Flüssigkeit langsamer geschieht. Der Ort, wo hauptsächlich Wasser aus den Blutgefässen in die Augenkammer ausschwitzt, sind offenbar die Ciliarfortsätze und die ebenfalls sehr gefässreiche hintere Fläche der Iris. Wenn nämlich durch Verwachsung des Pupillarrandes diese Gefässe von der vorderen Augenkammer abgesperrt sind, so wird dieselbe allmählich leer und die Linse rückt bis zur Hornhaut vor.

Wird die Augenkammer entleert, so ersetzt sich ihr Inhalt sehr schnell, woraus aber auf die Geschwindigkeit des Stromes unter normalen Verhältnissen nicht geschlossen werden kann, denn nach Entleerung des Kammerwassers ist der Druck daselbst Null und also der Ueberdruck in den Gefässen bedeutend grösser, was die Filtration beschleunigen muss. Auch ist in diesem Falle die Beschaffenheit des Filtrates eine andere, indem dasselbe reicher an Eiweiss

wird, welches im normalen Kammerwasser nur in minimen Spuren vorhanden ist.

Der intraokulare Druck muss offenbar in jedem Augenblicke gleich sein dem Drucke des Blutes in den Gefässen, vermindert um den Betrag, welchem die Spannung der Wände Gleichgewicht hält. Hieraus folgt, dass jede Ursache, welche den Druck in irgend welchem Theile des Blutgefässsystemes im Innern des Auges steigert, ohne zugleich die Spannung der Gefässwände zu vermehren, auch den intraokularen Druck steigern muss. Dies muss schon von den Schwankungen des arteriellen Blutdruckes durch den Puls gelten. In der That hat K. Weber, der in Gemeinschaft mit Ludwig dies Gebiet zuerst betreten hat, vom Pulse sowie auch von der Respiration abhängige Schwankungen des intraokularen Druckes beobachtet. Bei Anwendung sehr enger Manometer, wie sie zu genauen Messungen hier nur anwendbar sind, zeigen sich indessen die Pulsschwankungen meist gar nicht. Jedesfalls sind diese Schwankungen ausserordentlich klein und müssen es auch sein, weil rasche bedeutende Druckschwankungen wohl dem feinen Nervenapparate der Netzhaut gefährlich werden könnten. Wahrscheinlich ist dafür gesorgt, indem das Blut ins Innere des Auges durch sehr enge und verhältnissmässig lange Arterienästchen geführt wird, in denen die Pulswelle zum grössten Theil erlischt.

Alle Ursachen, die den mittleren Druck in der Carotis auf die Dauer erheblich ändern, haben eine sehr merkliche Wirkung auf den intraokularen Druck. So fand Adamük, dass bei Katzen und Hunden der Druck im Auge um 6—8 mm. sank, wenn die Carotis derselben Seite verschlossen wurde. Grünhagen und v. Hippel sowie A. Weber wiesen nach, dass Verschliessung der Aorta descendens den intraokularen Druck bedeutend steigert. Die ersteren sahen ferner denselben um 10—16 mm. steigen bei Reizung des Halsmarkes. Ebenso steigt auch der intraokulare Druck, wenn durch Erstickung der Blutdruck im allgemeinen gesteigert wird. Adamük hat nachgewiesen, dass Verschliessung der aus dem Bulbus oculi austretenden venae vorticosae eine Steigerung des Kammerwasserdruckes um 90 mm. bewirken kann. Dies ist begreiflich, da ja bei diesem Eingriffe der Druck in den Venen innerhalb des Bulbus die Höhe des arteriellen Druckes annehmen muss, und die Spannung der Venenwände doch kaum einen namhaften Werth besitzen wird. Dahingegen steigert Verschliessung der grossen Halsvenen den intraokularen Druck nicht merklich. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, dass schon im normalen Zustande der Druck in den Venen

des Bulbus an der Austrittsstelle mindestens dem intraokularen Drucke gleich sein muss, da ja sonst die Venen im Innern komprimirt werden würden. Bis zu diesem Betrage aber von etwa 30 mm. müsste also der Druck im ganzen Gebiete der vena jugularis erst steigen, ehe eine Steigerung des intraokularen Druckes selbst durch Verschliessung der Halsvenen zu erwarten wäre.

Sehr merkwürdig, aber noch nicht ganz aufgeklärt, sind die Beziehungen des n. sympathicus und trigeminus zum intraokularen Drucke. Reizung dieser beiden Nerven hat nämlich Steigerung desselben zur Folge, während doch von der Reizung des Halssympathicus als Wirkung eher eine Herabsetzung zu erwarten wäre, da ja dadurch voraussichtlich die Spannung der Gefässwände im Bulbus gesteigert wird. Verschiedene Forscher suchen die Steigerung des Druckes bei diesen Nervenreizungen zu erklären, indem sie annehmen, dass dadurch die Absonderungsbedingungen des Augenwassers günstiger würden. Ein strenger Beweis ist indessen für diese Annahme nicht geliefert.

Endlich mag noch erwähnt werden, dass Einträufeln von Atropin eine geringe Minderung, Einträufeln von Nicotin eine Steigerung des intraokularen Druckes bewirkt.

IV. Umgebung des Augapfels.

Der Augapfel liegt in der sogenannten Augenhöhle. Da sie etwa die Gestalt einer vierseitigen Pyramide hat, so bleiben zwischen ihren Wänden und dem kugelförmigen Augapfel grosse Lücken. Diese sind ausgefüllt mit fetthaltigem Bindegewebe, durch welches die verschiedenen für den Augapfel bestimmten Nerven und Gefässe hinziehen, vor Allem der durch das Foramen opticum an der Spitze der Augenhöhlenpyramide in sie eintretende nervus opticus, an dem der Augapfel wie an seinem Stiel hängt. Vermöge des lockeren Zusammenhanges der dem Augapfel nächst anliegenden Bindegewebsschichten kann derselbe auf dem Fettpolster gleiten wie ein kugelförmiger Gelenkkopf in seiner Gelenkpfanne. Man kann ihm somit eine arthrodische Beweglichkeit zuschreiben, wie in dem Abschnitte über die Augenbewegungen genauer auszuführen ist.

Bewerkstelligt werden die Bewegungen des Augapfels durch 3 Paare von Muskeln. Die beiden Muskeln jedes Paares sind sehr annähernd Antagonisten. Das erste Paar rectus internus und externus, nahezu in der wagrechten Meridianlinie des Auges verlaufend, drehen es um eine ziemlich senkrechte Axe nach innen und nach

aussen. Das zweite Paar rectus superior und inferior, ungefähr in einer senkrechten Ebene, deren Grundriss auf dem Horizont von hinten und innen nach vorn und aussen gerichtet ist, drehen um eine wagrechte von aussen und hinten nach innen und vorn gerichtete Axe auf- und abwärts. Die Zugrichtungen des dritten Paares musculus obliquus superior und inferior liegen gleichfalls in einer senkrechten Ebene, deren Spurlinie am Horizont von hinten und aussen nach vorn und innen gerichtet ist, sie drehen also auch in entgegengesetztem Sinne um eine wagrechte Axe, die von hinten und innen nach vorn und aussen gerichtet ist. 5 der genannten Muskeln, nämlich die 4 recti und der obliquus superior, entspringen in der Umgebung des Sehnerveneintrittes dicht beieinander. Die 4 recti ziehen von da ziemlich geradlinig die Kantenrichtungen einer 4seitigen Pyramide einhaltend zu ihren Ansatzstellen am Bulbus, die ungefähr auf demselben Parallelkreis etwas vor dem Aequator liegen. Der obliquus superior zieht vom Ursprung nach dem oberen inneren Winkel des Augenhöhlenrandes und hier geht seine Sehne durch eine am Stirnbein befestigte sehnige Schlinge (die trochlea), in der sie fast ohne Reibung gleiten kann. Von der trochlea zieht die Sehne des obliquus superior scharf abknickend nach hinten und aussen unter dem musculus rectus superior durch, um sich als platter Streif an der hinteren Bulbushälfte zu inseriren. Der obliquus inferior entspringt am inneren unteren Winkel des Augenhöhlenrandes und erreicht ohne plötzliche Richtungsänderung seinen Ansatz am äusseren hinteren Theile des Bulbus, von ihm bei der Ueberkreuzung durch den rectus inferior getrennt.

Der vordere, nahezu die Hälfte bildende Abschnitt des Augapfels, welcher über das Fettpolster der Augenhöhle hervorragt, ist zeitweise ganz, zeitweise zum Theil, bedeckt von den sogenannten Augenlidern. Es sind dies zwei verschiebbare Platten, bestehend aus einer festen bindegewebigen (nicht knorpeligen) Grundlage, dem Tarsus, welcher aussen von einer Fortsetzung der Gesichtshaut überzogen ist, innen von Schleimhaut, welche sich auf den bulbus oculi umschlägt und den aus dem Fettpolster vorragenden Abschnitt der sclerotica überzieht. Sie wird daher als Bindehaut tunica conjunctiva bezeichnet. Die äussere Gestalt des Augenlidspaltes und der Lider selbst in ihren verschiedenen Stellungen sind aus der Anschauung am Lebenden allgemein bekannt. In die beiden Tarsi sind etwa je 20 Drüsenschläuche mit seitlich anhängenden Läppchen eingelagert, die im Ganzen eine zu dem Lidrande nahezu senkrechte Richtung einhalten. Das Sekret dieser Tarsaldrüsen ist eine dickflüssige Fett-

emulsion, welche sie an den Lidrand ergiessen. Zwischen den Ausführungsgängen befinden sich die Wurzeln von etwa 100 starken Haaren in jedem Lide, der sogenannten Augenwimpern.

Die inneren sowohl als äusseren Enden der Tarsi sind durch ziemlich starke bandartige Bindegewebsstränge an die dem inneren und äusseren Augenwinkel gegenüberliegenden Stellen des knöchernen Augenhöhlenrandes angeheftet. Es entsteht so das innere Augenlidband, welches die inneren Enden der tarsi oder den inneren Augenwinkel an den Stirnfortsatz des Oberkiefers stark befestigt, und das etwas schwächere Augenlidband vom äusseren Augenwinkel nach dem Jochbeinrand. Die Tarsi sind übrigens ringsum durch eine Fascie an den Augenhöhlenrand angeheftet.

Die Augenlider werden bewegt durch einen aus verschiedenen Theilen zusammengesetzten Muskelapparat. An den oberen Rand des tarsus setzt sich der levator palpebrae superioris, er entspringt von der Umgebung des foramen opticum wie der m. rectus superior, über dem er in seiner ganzen Ausdehnung hinzieht, und wie dieser wird er auch vom nervus oculomotorius innervirt. Wie aus der Lage dieses Muskels zu schliessen ist und sein Name besagt, hat er die Aufgabe, durch seine Zusammenziehung das obere Augenlid zu heben und so zur Oeffnung des Augenlidspaltes mitzuwirken. Die dabei stattfindende Senkung des unteren Augenlides wird wesentlich durch die Schwere bewirkt, vielleicht jedoch zum Theil auch durch Zusammenziehung gewisser Muskelbündel, welche im Ganzen ähnlich verlaufen wie der Schliessmuskel der Augenlidspalte. Als solcher dient eine sehr dünne Muskelschicht, welche dicht unter der Haut beider Augenlider liegt und deren Fasern den Augenlidspalt in flachen Bogen umziehen. Jedoch gehen die Fasern des oberen Lides nicht an den Augenwinkeln in die des unteren über, so dass der Muskel nur uneigentlich dem äusseren Ansehen nach als „Ringmuskel“ (orbicularis palpebrarum) bezeichnet wird. Es entspringen vielmehr die Fasern des oberen sowohl als die des unteren Lides an dem inneren Lidband und setzen sich an das äussere fest. Indem sich die nach der Lidspalte konkaven Bogen bei der Contraktion in gerade Linien zu verwandeln streben, müssen sie die beiden Augenlider zusammen schieben und mithin den Lidspalt schliessen.

Diejenigen von den Anatomen zum Orbicularis gezählten Muskelfasern, welche oben sowohl als unten hart am freien Lidrande hinziehen, haben einen anderen Ursprung als die in weiteren Bogen verlaufenden. Sie entspringen nämlich etwas tiefer hinten in der Augenhöhle an der crista lacrymalis des Thränenbeins. Den An-

fangstheil dieser Faserbündel von der Ursprungsstelle bis zum inneren Augenwinkel, wo sie auf die Lidränder übertreten, hat man früher als einen besonderen Muskel unter dem Namen des Horner'schen (musculus sacci lacrymalis) beschrieben. Auf Grund eingehender Zergliederung der Verhältnisse hat Henke[1] die Behauptung aufgestellt, dass die in Rede stehenden Bündel keineswegs wie die bogenförmigen zur Schliessung des Lidspaltes, sondern dass sie vielmehr zu dessen Oeffnung mitwirken. Henke macht nämlich darauf aufmerksam, dass die gerade Verbindungslinie vom Ursprung dieser Bündel an der crista lacrymalis zu ihrem mechanischen Ansatz am Rande des Jochbeins hinter dem Krümmungsmittelpunkt der Hornhaut hergeht und dass mithin die Zusammenziehung der Bündel die Lidränder vom Scheitel der Hornhaut nach hinten abgleiten machen muss. Gestützt wird diese Annahme durch die feine Beobachtung Henke's, dass der innere Augenwinkel d. h. das Ende des inneren Augenlidbandes bei der Schliessung der Augenlider vortritt, bei ihrer Oeffnung zurückweicht, offenbar rückwärts gezogen durch die Zusammenziehung des Horner'schen Muskels, der also bei diesem Akte betheiligt sein muss. Da er aber nichts Anderes ist als der Ursprungstheil jener am Lidrande hinziehenden Bündel des orbicularis, so werden sie im Ganzen einen Oeffner des Lidspaltes darstellen.

In den Conjunktivalsack nahe der Umschlagfalte oben und aussen ergiessen sich die 3—5 Ausführungsgänge der Thränendrüsen, welche in einer nischenartigen Vertiefung vom Jochfortsatze des Stirnbeins liegen.

Die Thränenflüssigkeit, deren Absonderung und Zusammensetzung in der Lehre von den Sekretionen abgehandelt ist, dient zur Feuchthaltung der freiliegenden Theile des Augapfels, der Ueberschuss derselben wird durch einen besonderen Mechanismus nach der Nase abgeleitet. In der Nähe der inneren Augenwinkel nämlich ist an jedem Lidrande eine kleine Papille auf deren Höhe die freie Ausmündung eines feinen Kanälchens liegt, das in den sogenannten sacculus lacrymalis ausmündet. Dieser stellt das obere etwas erweiterte Ende des aus der Anatomie bekannten Thränennasenganges dar, der weiter unten zwischen Knochen hindurch in den unteren Nasengang einmündet.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass bei reichlicher Thränenabsonderung das Ueberfliessen derselben über den Lidrand durch häufigen Lidschlag verhindert werden kann, wobei der untere Nasen-

1 Henke, Die Oeffnung und Schliessung der Augenlider und des Thränensackes. Arch. f. Ophthalmol. Bd. IV. 2. Abth.

gang offenbar durch die dahin geführte Thränenflüssigkeit merklich feucht wird, oft in dem Grade, dass ein Bedürfniss der Entleerung durch die Nasenlöcher entsteht. Diese Erscheinung deutet darauf hin, dass der Lidschlag eine pumpende Wirkung äussert, welche die Thränenflüssigkeit rasch vom Bindehautsack zur Nasenhöhle fördert. Eine höchst ansprechende Erklärung dieser Pumpwirkung hat HENKE auf die schon oben von ihm entlehnten anatomischen Bemerkungen gegründet. Beim Schliessen der Augenlider nämlich wird wie wir sahen das innere Augenlidband aus seiner Nische etwas hervorgehoben und dadurch der Thränensack entfaltet, da seine vordere Wand mit jenem Bande verwebt ist. Dadurch wird eine saugende Wirkung ausgeübt, welcher die Thränenflüssigkeit durch die kleinen Thränenkanälchen folgen kann, indem die Thränenpunkte in den sogenannten Thränenbach eintauchen, der dem geschlossenen Augenlidrand entlang läuft, da die vorderen Ränder des Lidsaumes enger zusammenschliessen als die hinteren. Die im Thränennasenkanal befindliche Flüssigkeit kann der Saugwirkung weniger Folge geben theils — bei aufrecht stehendem Kopfe — wegen der Schwere theils aber vielleicht gehindert durch eine klappenartige Schleimhautfalte vor der Nasenmündung des Kanales. Bei jedem Lidschluss wird also der Thränensack Flüssigkeit vom Bindehautsacke her ansaugen wenn solche vorhanden ist. Bei der Oeffnung der Augenlider ziehen sich nun nach HENKE's Annahme die von der crista lacrymalis entspringenden hinter dem Thränensacke herlaufenden und dann dicht am Lidspalt hinziehenden Bündel zusammen ihr Anfangstheil zieht das innere Augenlidband wieder zurück (siehe oben) und es wird also der Thränensack zusammengedrückt. Er kann sich aber nun nicht nach dem Bindehautsack hin entleeren, da die am Lidrand hinziehenden Bündel die zwischen ihnen befindlichen Thränenpunkte komprimiren, um so mehr als einige Fasern dieser Bündel die Thränenpunkte schlingenförmig umgreifen und somit eigentliche Sphinkteren derselben darstellen. Die bei Oeffnung der Augenlider aus dem Thränensacke ausgepresste Flüssigkeit kann also nur nach der Nasenhöhle entweichen, womit die pumpende Wirkung des abwechselnden Schliessens und Oeffnens der Lidspalte vollständig erklärt wäre.

DRITTES CAPITEL.

Numerische Bestimmung der für die Strahlenbrechung im Auge maassgebenden Grössen.

I. Die Brechungsindices der durchsichtigen Augenmedien.

Wenn jetzt der Gang von Lichtstrahlen durch das beschriebene System durchsichtiger Körper des Auges untersucht werden soll, so müssen erstens die Brechungsindices der einzelnen durchsichtigen Stoffe und zweitens die geometrische Natur und Lage ihrer Trennungsflächen bestimmt werden. Sollen die über den Gang der Strahlen aufzustellenden Gesetze auf ein bestimmtes lebendes Auge anwendbar sein, so müssten streng genommen die erwähnten Bestimmungen an diesem individuellen lebenden Auge selbst gemacht werden. Da indessen verschiedene normale Augen schwerlich sehr bedeutende Unterschiede der hier maassgebenden Grössen aufweisen werden, so wird es erlaubt sein, nachdem die Bestimmungen an einigen Augen ausgeführt sind, durchschnittliche Werthe derselben als normale in die Rechnung einzuführen und so den Gang der Lichtstrahlen durch das System zu behandeln.

Was zunächst die Brechungsindices betrifft, so lassen sich dieselben leider am lebenden Auge gar nicht bestimmen, und ist man daher auf Bestimmungen an Leichen angewiesen. Dies wäre indessen nur ein geringer Nachtheil, da Krause[1] gezeigt hat, dass die Brechungsindices der Medien von Leichenaugen in den ersten 24 Stunden nach dem Tode keine merkliche Aenderung erleiden. Man ist hiernach berechtigt anzunehmen, dass diese Grössen im lebenden Auge dieselben Werthe haben, wie einige Stunden nach dem Tode. Bei verschiedenen Leichenaugen hat nun aber der soeben citirte Forscher merklich von einander abweichende Werthe der Brechungsindices gefunden. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als aus einer möglichst grossen Anzahl von Bestimmungen an Leichenaugen Mittelwerthe zu berechnen. Schon verschiedene ältere Forscher, namentlich Chossat und Brewster haben gelegentlich Bestimmungen der Brechungsindices einzelner Augenmedien ausgeführt. Ein besonders rei-

---

1 Die Brechungsindices etc. Hannover 1855.

ches Material hat aber in neuerer Zeit KRAUSE herbeigeschafft, indem er an 20 Leichenaugen Messungen angestellt hat. Sie beziehen sich sämmtlich auf Strahlen von derjenigen Wellenlänge, welcher die hellste Stelle des Sonnenspektrums entspricht. Diese liegt zwischen den FRAUENHOFER'schen Linien *D* und *E* und zwar von *D* aus gerechnet etwa am Ende des ersten Drittels oder Viertels der Entfernung zwischen *D* und *E*. KRAUSE setzt für diese Strahlenart den Brechungsindex des Wassers nach den älteren klassischen Messungen = 1,33424 wodurch die Stelle des Spektrums genau bestimmt ist.

Diesen Bedingungen entsprechend ergab sich der Brechungsindex der Hornhautsubstanz im Mittel = 1,3507 der grösste Werth war 1,3569 der kleinste 1,3431, was auf eine ziemliche Breite der individuellen Schwankungen schliessen lässt.

Der Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit war im Mittel = 1,3420 der grösste Werth = 1,3557 der kleinste = 1,3349. Der Brechungsindex des Glaskörpers beträgt im Mittel 1,3485, der grösste gefundene Werth war = 1,3569 der kleinste = 1,3361. HELMHOLTZ fand den Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit und des Glaskörpers kleiner als KRAUSE ihn im Mittel fand nämlich = 1,3365 und = 1,3382. Ebenso fanden auch neuerdings FLEISCHER[1] und HIRSCHBERG[2] für diese Grössen Werthe, welche sich besser den von HELMHOLTZ gefundenen als den KRAUSE'schen Mittelzahlen anschliessen. Auch AUBERT[3] und MATTHIESSEN kamen zu ähnlichen Ergebnissen.

Eine besondere Betrachtung erfordern die Brechungsindices der Linse. Diese ist nämlich keineswegs ein optisch homogener Körper. Im Gegentheil hat der Brechungsindex jeder Linsenschicht einen andern Werth und zwar nimmt dieser Werth von der Oberfläche nach dem Kern stetig und regelmässig zu. Natürlich kann man nicht daran denken, diese Brechungsindices alle zu bestimmen. KRAUSE, der wie gesagt die ersten zahlreichen Bestimmungen der Brechungsindices gemacht hat, beschränkte sich daher darauf, aus jeder untersuchten Linse 3 Proben zu nehmen, eine von einer möglichst oberflächlichen Schicht, die zweite aus einer mittleren Schicht und die dritte aus dem innersten Kern. Die Schlussergebnisse dieser Untersuchung der Linsensubstanz sind in der nachstehenden Tabelle übersichtlich zusammengestellt.

---

1 S. FLEISCHER, Neue Bestimmungen der Brechungsexponenten der durchsichtigen flüssigen Medien des Auges. Inauguralabhdlg. Jena 1872.

2 HIRSCHBERG, Ophthalmologische Studien. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkunde IV. Sep.-Abdr. Wiesbaden 1874.

3 AUBERT's Darstellung der physiologischen Optik in dem Handbuch der gesammten Augenheilkunde, herausgeg. v. GRAEFE & SAEMISCH. II. S. 409. Leipzig 1876.

	Brechungsindex		
	der äusseren Linsenschicht.	der mittleren Linsenschicht.	des Kernes der Linse.
Maximum	1,4743	1,4775	1,4807
Minimum	1,3431	1,3523	1,4252
Mittel	1,4053	1,4294	1,4541.

Endlich ist über die optischen Eigenschaften der Linse noch zu bemerken, dass dieser Körper in seiner natürlichen Form zwischen polarisirenden Vorrichtungen Spuren von Doppelbrechung zeigt, die wohl auf elastische Spannungen in seinem Innern zu beziehen sind. Da jedoch beim Sehakt keinerlei Wirkung dieser Doppelbrechung zum Vorschein kommt, so ist keine Veranlassung dieselbe weiter zu verfolgen.

Wenn man die Constanten des dioptrischen Systemes des Auges einer Diskussion des Ganges der Lichtstrahlen durch das Auge zu Grunde legen will, so kann man offenbar den unzählig vielen verschiedenen Brechungsindices der Linsen-Schichten nicht Rechnung tragen; man muss vielmehr für eine erste Annäherung die Linse als einen homogenen Körper betrachten und fragen, welchen Brechungsindex man ihrer Substanz beizulegen habe, damit möglichst nahezu derselbe optische Erfolg erzielt werde, damit namentlich die Brennweiten der homogen gedachten Linse gleich denen der wirklichen werden. Es wäre ein grosser Irrthum, wollte man der homogen gedachten Linse als Brechungsindex etwa den Mittelwerth der verschiedenen Brechungsindices der wirklichen Linsenschichten beilegen, man würde dadurch ein weit weniger „kollectives“ System erhalten, als es die wirkliche Linse ist. Ja wenn man der ganzen Linse den Brechungsindex des Linsenkerns beilegte, erhielte man immer noch ein zu wenig kollectives System.

Man kann sich von dem vorstehend ausgesprochenen Satze durch folgende Betrachtung überzeugen. Es ist erstens ohne weiteres in der Anschauung ersichtlich, dass man an jeder Stelle eines dioptrischen Systems eine parallelwandige Schicht eines beliebigen Mediums von verschwindend kleiner Dicke eingeschaltet denken kann ohne den Gang der Strahlen merklich zu ändern. Wir wollen nun die Linse uns beiderseits von unbegrenzten Mengen wässriger Feuchtigkeit umgeben und zwischen je zwei Schichten derselben ebenfalls eine unendlich dünne Schicht wässriger Feuchtigkeit denken. Dann haben wir ein System, dessen erstes und letztes Medium wässrige Feuch-

tigkeit ist, und dazwischen liegen alle Linsenschichten, sowie die bloss gedachten unendlich dünnen Schichten wässriger Feuchtigkeit. Das ganze System wird offenbar kollektiv wirken. Man kann aber dies System auch in Partialsysteme zerlegen, indem man jede Linsenschicht mit den beiden angrenzenden Schichten wässriger Feuchtigkeit für sich betrachtet. Von diesen Partialsystemen ist nur das vom Linsenkern gebildete kollektiv, die andern sind sämmtlich dispansiv, denn jede der um den Kern gelagerten Linsenschichten ist auf ihrer konkaven Seite stärker gekrümmt als auf ihrer konvexen und bildet in wässriger Feuchtigkeit eingetaucht eine konvexkonkave Linse. Die dispansive Kraft einer solchen ist offenbar um so grösser, je mehr der Brechungsindex ihrer Substanz den des beiderseits angrenzenden Mediums übertrifft. Man wird also die dispansive Kraft aller dieser konvexkonkaven Linsen steigern, wenn man den Brechungsindex aller vermehrt bis zu dem Werthe, welcher dem Brechungsindex des Linsenkernes zukommt, d. h. wenn man die geschichtete Linse ersetzt denkt durch eine homogene vom Brechungsindex des Kernes. Es ist aber klar, dass eine Erhöhung der dispansiven Kraft der sämmtlichen dispansiven Partialsysteme die kollektive Gesammtwirkung vermindern müsste, welche das ganze aus den Konkavlinsen und dem (kollektiv wirkenden) Kern ausübt. Somit ist bewiesen, dass eine homogene Linse, deren Brechungsindex dem des Linsenkerns entspricht, noch immer nicht so kleine Brennweiten besitzen wird, als die wirkliche geschichtete Linse. Will man also eine homogene Linse für die geschichtete setzen, so muss ihr ein Brechungsindex beigelegt werden, noch grösser als der des Linsenkernes. In den neueren Darstellungen der physiologischen Optik hat man — nicht ohne eine gewisse Willkür — als Brechungsindex der homogen gedachten Linse die Zahl $^{16}/_{11}$ angenommen, die zuerst von Listing vorgeschlagen ist und die den vorhin angegebenen Krause'schen Mittelwerth 1,4541 des Brechungsindex des Linsenkernes um 0,0004 übertrifft. Jedesfalls giebt diese Zahl in die Rechnungen eingeführt sehr annähernd richtige Resultate. Helmholtz hat an den Linsen von Leichen die Halbmesser der beiden Flächen und die Dicke zwischen den Scheiteln gemessen, und dann mit der Zahl $^{16}/_{11}$ als Brechungsindex die Brennweite berechnet. Andererseits hat er diese Brennweite direkt bestimmt und auf beiden Wegen nur sehr wenig abweichende Werthe gefunden.

Auch vom Brechungsindex der Hornhaut und der Linsenkapsel sind neuerdings einzelne Bestimmungen ausgeführt. Sie haben Werthe ergeben, die nicht sehr weit von denen des Brechungsindex der wässrigen

Feuchtigkeit abliegen. Da indessen bei unseren späteren Betrachtungen auf die Brechung an diesen Membranen doch keine Rücksicht genommen wird, so brauchen wir uns mit ihren Brechungsindices nicht zu beschäftigen.

Es verdient endlich noch bemerkt zu werden, dass Matthiessen[1] auf Grund neuer Messungen behauptet, dass die Zunahme der Brechungsindices in den äussersten Linsenschichten rascher erfolge, als in den inneren. Matthiessen schreibt diesem Umstande eine Bedeutung zu für Erhöhung des totalen Brechungsindex und für den Aplanatismus der Linse.

II. Lage und Gestalt der Trennungsflächen.

Die geometrische Natur und Lage der Trennungsflächen zwischen den brechenden Medien kann am lebenden Auge annähernd bestimmt werden. Es dient hierzu die Spiegelung von aussen einfallenden Lichtes an diesen Flächen. Aeltere Methoden zu demselben Zwecke haben nur noch ein historisches Interesse und sind daher hier ganz zu übergehen.

Ganz unmittelbar ist die vordere Hornhautfläche der Beobachtung zugänglich und die Reflexion des Lichtes an ihr erzeugt ganz deutliche Bilder heller Gegenstände, welche von Alters her bekannt sind. Die Krümmung der Fläche mag nun im ganzen beschaffen sein wie sie wolle, immer wird man, wenn sie nur allseitig konvex ist, in erster Annäherung jedes kleine Stückchen derselben als Stückchen einer Kugelfläche betrachten können. Bei Spiegelung eines entfernten und nicht allzu ausgedehnten Gegenstandes kommt aber eben immer nur ein sehr kleiner Theil der Hornhautfläche als spiegelnde Fläche zur Wirkung. Man weiss nun aus der Katoptrik, dass bei einem konvexen Kugelspiegel die Grösse des Bildes sich zur Grösse des Objektes verhält wie der halbe Halbmesser der Kugelfläche zur Entfernung des Objektes vom Mittelpunkte der Kugel, unter der Voraussetzung dass der Objektabstand gegen den Halbmesser der Kugel sehr gross ist. Stellt man also in der genau gemessenen Entfernung p von der Hornhautfläche in einer Ebene, welche der Tangentialebene an den untersuchten Hornhautstücken parallel ist, ein geeignetes leuchtendes Objekt auf, von welchem eine Leardimension l genau gemessen ist und gelingt es die entsprechende Lineardimension des Spiegelbildes l^* genau zu messen, so hat man zur Bestim-

1 Grundriss der Dioptrik geschichteter Linsensysteme.

mung des Halbmessers r des als Kugelstück betrachteten spiegelnden Oberflächenstückes der Hornhaut die Gleichung

$$\frac{l^*}{l} = \frac{1/2\, r}{r + p},$$

da indessen p jedesfalls ein sehr grosses Vielfaches von r sein muss, genügt es die Gleichung einfach so zu schreiben

$$\frac{l^*}{l} = \frac{1/2\, r}{p}.$$

Es kommt also nur noch darauf an eine Methode zu finden, nach der die Bildausdehnung l^* genau gemessen werden kann. Man hat zu diesem Zwecke früher einfach ein auf kurze Entfernung einstellbares Fernrohr mit Okularmikrometer angewandt. Das hat aber zwei Uebelstände. Erstens muss man hier auch noch den Abstand des Fernrohres vom beobachteten Auge genau kennen und zweitens erfordert die Messung zwei Akte der Aufmerksamkeit des Beobachters, nämlich auf die beiden Punkte des Okularmikrometers, mit denen die beiden Enden des beobachteten Spiegelbildes zusammenfallen. Zwischen diesen beiden Akten der Aufmerksamkeit verstreicht aber eine gewisse Zeit und wenn während derselben das beobachtete Auge eine Bewegung gemacht hat, so geht der ganze Betrag derselben als Fehler in die Messung ein. Um diese Fehlerquellen zu beseitigen hat HELMHOLTZ einen Apparat konstruirt, durch welchen die Messung ausführbar ist in einem Akte der Aufmerksamkeit des Beobachters und ohne dass die Entfernung des Messinstrumentes vom beobachteten Auge bestimmt zu sein braucht. Dieses Instrument, das seither in der physiologischen und pathologischen Optik unter dem Namen des Ophthalmometers eine bedeutende Rolle spielt, ist auf folgendes Princip gegründet. Fällt von einem leuchtenden Punkte P ein Strahlenbündel schräg auf eine planparallele Glasplatte, deren Abmessungen gegen die Entfernung des leuchtenden Punktes klein sind, so wird hinter derselben ein Bündel entstehen, in welchem jeder Strahl dem entsprechenden einfallenden merklich parallel, aber um ein bestimmtes Stück verschoben ist und zwar nach dem Fusspunkte des Perpendikels vom leuchtenden Punkte auf der Glasplatte. Die in Linienmaass gemessene Verschiebung, welche jeder Strahl parallel mit sich erleidet, hängt lediglich ab vom Brechungsindex des Glases, der Dicke der Platte und dem Einfallswinkel der Strahlen. Je grösser dieser ist, desto grösser ist die lineare Verschiebung. Für irgend ein hinter der Glasplatte befindliches System, welches im Sinne des 1. Abschnittes optische Bilder liefert, wirkt also die Zwischenschiebung der Glasplatte genau so, als ob der leuchtende Punkt

um ein gewisses Stück zur Seite geschoben und ausserdem ein klein wenig angenähert wäre, auf welchen letzteren Umstand jedoch hier nichts ankommt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man durch eine mit der Hand vor das Auge gehaltene Glasplatte hindurchsieht. Sowie man sie schräg dreht, scheinen alle Objekte ein wenig nach der Seite zu weichen und zwar um so mehr, je schräger die Platte gegen die Sehrichtung gestellt wird. Es ist dabei auch leicht zu bemerken, dass der Werth der linearen Verschiebung unabhängig ist von der Entfernung der Objekte, so dass sie bei sehr entfernten Gegenständen gar nicht mehr wahrgenommen werden kann.

Statt eines Auges wollen wir uns nun zunächst hinter der Glasplatte das Objektiv eines auf kurze Distanzen einstellbaren Fernrohres denken. Ferner wollen wir die Glasplatte in zwei Stücke zerschnitten denken, von denen das eine vor der oberen, das andere vor der unteren Hälfte des Objektivs steht. Endlich sollen diese beiden Stücke der Glasplatte in einen Mechanismus eingefügt sein, vermöge dessen sie immer um gleiche Winkel in entgegengesetztem Sinne gedreht werden können, so dass die optische Axe des Fernrohres stets den Winkel halbirt, unter welchem sich die erweiterten Ebenen der Platten schneiden. Hiermit ist die wesentliche Einrichtung des Ophthalmometers gegeben. Sie ist in Fig. 8 mit Weglas-

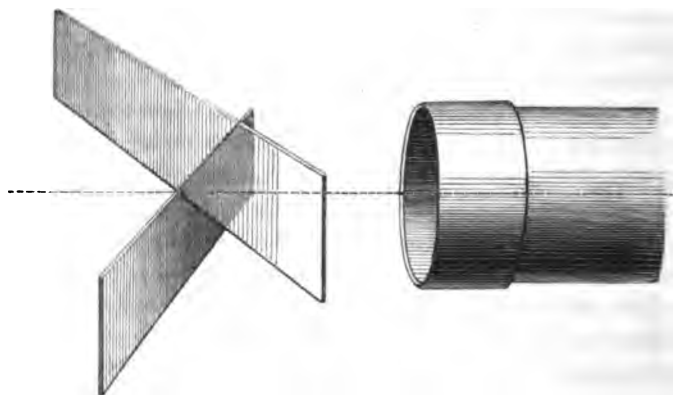


Fig. 8.

sung des Mechanismus, durch welchen die Glasplatten geführt werden, dargestellt. Der Erfolg ist nun leicht vorherzusehen, stellt man die beiden Platten senkrecht zur Axe des Fernrohres so, dass eine die Fortsetzung der andern bildet, dann wird von einem vor ihnen gelegenen Objekte durch das Fernrohr nur ein Bild gesehen werden. So-

wie man aber den Mechanismus anfängt zu drehen, zerfällt das Bild in zwei, welche um so weiter auseinanderrücken je kleiner der Winkel wird, unter welchem die Axe des Fernrohres die Platten schneidet. In der That jetzt zerfällt jedes von einem Punkte des Objektes ausgehende Strahlenbündel in zwei Hälften, die eine durch die obere schräge Platte gehende Hälfte verhält sich dahinter — also im Fernrohr — genau so, als ob sie von einem etwas zur einen Seite des wirklichen Objektpunktes gelegenen Punkte ausgegangen wäre, die andere Hälfte, durch die untere Platte gegangen, verhält sich im Fernrohr so, als wäre sie von einem um ebensoviel zur anderen Seite des wirklichen Objektpunktes gelegenen Punkte ausgegangen. In der Bildebene des Fernrohres müssen demnach von jedem Objektpunkte zwei Bildpunkte entstehen. Ist nun das ganze Objekt hinlänglich schmal, so wird man bei fortgesetzter Drehung der Platten zu einem Punkte kommen, wo der linke Rand des einen scheinbaren Objektes mit dem rechten des anderen zusammenfällt, wo also die Verschiebung der beiden scheinbaren Objekte gegeneinander ihrer Breite gleich geworden ist. Hat man also zum Voraus für jede Winkelstellung der Platten durch Rechnung oder empirisch die Verschiebung ermittelt, so hat man durch Bestimmung der zu dem gedachten Erfolge erforderlichen Winkelstellung eine Messung der Objektbreite ausgeführt, was wie man sieht in einem Akte der Aufmerksamkeit geschieht, ohne dass Bewegungen des Objektes dabei störend wären, da solche Bewegungen von beiden Bildern ganz gleichmässig mitgemacht werden.

Um nun die Krümmungshalbmesser einzelner Stücke der vorderen Hornhautfläche zu bestimmen, stellt man in grosser aber genau gemessener Entfernung von dem beobachteten Auge ein geeignetes Objekt auf, am besten besteht es aus drei Lichtflammen vor einem Maasstab, von denen zwei zu beiden Seiten eines Theilstriches dicht beisammen stehen, die andere vor einem weit davon entfernten Theilstriche. Der Maasstab steht auf einer vom beobachteten Auge nach seiner Mitte gezogenen Geraden senkrecht. Das Spiegelbild dieses Flammensystems in der Hornhaut des beobachteten Auges bildet nun für das Ophthalmometer das Objekt. Da es aus drei Lichtpünktchen besteht, von denen zwei ganz dicht zusammen liegen, ist es sehr geeignet, den Augenblick zu bestimmen, wo die Verschiebung der Doppelbilder gerade seiner Breite gleich ist, denn dieser Augenblick ist derjenige, wo das einzelne Lichtpünktchen vom einen Bilde gerade in die Mitte zwischen die beiden dicht beisammen liegenden Pünktchen vom andern Bilde getreten ist. Als Breite des Objektes

ist dann in Rechnung zu bringen die Strecke des erwähnten Maassstabes zwischen dem Theilstriche, vor welchem die einzelne Flamme steht und demjenigen, zu dessen beiden Seiten die beiden andern Flammen stehen. Natürlich kann man auch das Spiegelbild eines anderen hellen Objektes, z. B. einer entfernten Fensteröffnung, verwenden.

Durchmustert man auf diese Art verschiedene Stellen der Hornhaut desselben Auges, so findet man den Krümmungshalbmesser am Scheitel kleiner als gegen den Rand. Die Gestalt der vorderen Hornhautfläche weicht also sehr merklich von der Kugelgestalt ab und würde genauer zur Deckung gebracht werden können mit einem am Scheitel genommenen Abschnitte eines Ellipsoides, das durch Drehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden ist oder etwa einem an der Spitze einer Eioberfläche genommenen Abschnitte. Später werden wir noch eine andere Abweichung der Hornhautoberfläche von der Kugelgestalt zu berücksichtigen haben. Wenn man eine genügende Anzahl von Krümmungshalbmessern für genau bestimmte Stellen eines Meridianes der Hornhaut gefunden hat, so kann man natürlich die Elemente derjenigen Ellipse berechnen, welcher sich dieser Hornhautmeridian am genauesten anschliesst.

In nachstehender Tabelle sind die Ergebnisse dreier Systeme solcher Messungen wiedergegeben, welche Helmholtz an den Augen von 3 weiblichen Individuen zwischen 25 und 30 Jahren ausgeführt hat und zwar beziehen sie sich auf den horizontalen Meridian der drei Augen.

Bezeichnung des Auges	*A*	*B*	*C*
Krümmungshalbmesser am Scheitel	7,338	7,646	8,154
Quadrat der Excentricität	0,4367	0,243	0,3037
Halbe grosse Axe	13,027	10,100	11,711
Halbe kleine Axe	9,777	8,788	9,772
Horizontaler Durchmesser des Umfangs	11,64	11,64	12,092
Abstand des Scheitels von der Ebene des Umfangs	2,56	2,531	2,511
Winkel zwischen der grossen Axe und der Gesichtslinie	4°19′	6°43′	7°35′

Zu der letzten in der Tabelle aufgeführten Winkelgrösse sei noch bemerkt, dass unter „Gesichtslinie“ die Richtung des genausten Sehens zu verstehen ist. Die Begründung für das Vorhandensein einer solchen kann erst in der Lehre von den Lichtempfindungen vollständig gegeben werden, doch mag schon hier bemerkt sein, dass sie im Sinne nach vorn verfolgt von der nach vorn verlängerten Symmetrieaxe des Auges meist sehr merklich nasenwärts abweicht.

Die Grösse dieses Winkels ist später noch von andern Forschern[1] an verschiedenen Augen gemessen und stets fand sich, dass die grosse Axe des Hornhautellipsoides schläfenwärts von der Gesichtslinie abwich.

Die Abweichung der vorderen Hornhautfläche von der Kugelgestalt ist offenbar von Vortheil für die Schärfe der Bilder, wenn bei weiter Pupille Strahlenbündel zur Wirkung kommen, deren Randstrahlen schon auf eine Zone der Cornea fallen, welche an deren Mittelpunkt einen nicht ganz kleinen Winkel umspannt, so dass die einschränkenden Bedingungen des ersten Abschnittes nicht mehr hinreichend erfüllt wären. Solche Strahlen würden nämlich an einer wirklichen Kugelfläche früher zur Vereinigung gebracht, als in dem Bildpunkte dessen Lage im ersten Abschnitte für ein sehr schmales Strahlenbündel bestimmt wurde. Diese Abweichung von der Homocentricität der an grösseren Kugelabschnitten gebrochenen Strahlenbündel nennt man Abweichung von der Kugelgestalt. Ein brechendes System, in welchem diese Abweichung möglichst korrigirt ist, nennt man „aplanatisch". Es ist klar, dass die schwächere Krümmung der Hornhaut gegen den Rand hin im Sinne des Aplanatismus wirken muss. Ausführlich hat hierüber neuerdings MATTHIESSEN[2] gehandelt. Schon vor längerer Zeit hat VOLKMANN[3] über den Aplanatismus des Gesammtauges Untersuchungen angestellt.

Aeltere Messungen von KOHLRAUSCH mit Okularmikrometer haben für den Krümmungshalbmesser der vorderen Hornhautfläche den durchschnittlichen Werth von 7,87 mm. ergeben.

An der Hinterfläche der Hornhaut findet keine merkbare Spiegelung statt. Der Grund dürfte darin zu suchen sein, dass wegen der kleinen Differenz zwischen den Brechungsindices der hier aneinandergrenzenden Medien die Spiegelung überhaupt sehr schwach ist und dass die von ihr gelieferten Bilder nothwendig ganz dicht neben die von der Vorderfläche der Hornhaut entworfenen Spiegelbilder derselben Objekte fallen müssen und daher neben diesen sehr hellen Bildern verschwinden.

Bezüglich der hinteren Hornhautfläche ist man daher auf direkte Messungen an Leichenaugen angewiesen. Solche haben ergeben, dass die Krümmung derselben wahrscheinlich etwas stärker ist, als die der vorderen, denn man findet regelmässig die Hornhäute von Leichen am Rande ein wenig dicker als in der Mitte. Uebrigens ist eine genaue Bestimmung der Krümmung der hinteren Hornhautfläche nicht

---

1 MANDELSTAMM, Zur Ophthalmometrie. Arch. f. Ophthalmologie XI. 2. Abth. S. 259.

2 Arch. f. Ophthalmologie XXIII. 1. Abth. S. 125.

3 Wagner's Handwörterb. d. Physiol. Art. „Sehen".

erforderlich, da die Brechung an ihr auf den Gang der Strahlen durch das Auge sicher nur von ganz verschwindendem Einflusse ist.

Man kann sich hiervon auf folgendem Wege überzeugen. Es ist schon weiter oben erwähnt, dass man in jedes brechende System an jeder Stelle eine verschwindend dünne Schicht eines durchsichtigen Körpers von beliebigem Brechungsindex eingeschaltet denken kann, ohne dass dadurch der Gang der Strahlen merklich verändert würde. Wir wollen uns nun an der vorderen Hornhautfläche eine solche verschwindend dünne Schicht wässriger Feuchtigkeit ausgebreitet denken, was ohnehin den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen dürfte, da die hier immer vorhandene benetzende Schicht der Thränenflüssigkeit wohl in ihrer Brechkraft von der wässerigen Feuchtigkeit nicht merklich verschieden sein wird.

Jetzt werden wir also ein System vor uns haben, bestehend aus Luft, wässriger Feuchtigkeit (in kapillärer Schicht), Hornhautsubstanz, wässriger Feuchtigkeit. Lassen wir nun homocentrische Strahlenbündel in die erste Schicht wässriger Feuchtigkeit eintreten, so wird sich darin ein System von wiederum homocentrischen Strahlenbündeln bewegen, deren Centra wir für die weitere Brechung als Objektpunkte anzusehen haben und zwar, beiläufig gesagt, wenn sie hinter der Hinterwand der kapillären Schicht liegen als virtuelle. Wir wollen nun ein solches in dieser Schicht sich fortpflanzendes Strahlenbündel ins Auge fassen, die Entfernung seines Centrums von der wirklichen vorderen Hornhautfläche mit q bezeichnen und auf seine Brechung an derselben die Formel S. 9 anwenden, wollen aber für die wie immer nach hinten positiv gerechnete Entfernung des Bildpunktes von der Trennungsfläche einstweilen die Bezeichnung q^* einführen, so dass man hat

$$\frac{1}{q} + \frac{n}{q^*} = \frac{n-1}{r}$$

wo r den Halbmesser der vorderen Hornhautfläche und n den Brechungsindex beim Uebergang von Strahlen aus wässriger Feuchtigkeit in Hornhautsubstanz bedeutet. Da nun der absolute Brechungsindex der ersteren 1,3420, der der letzteren = 1,3507 ist, so ist

$$n = \frac{1{,}3507}{1{,}3420} = 1{,}00634$$

zu setzen. Bei der ausserordentlich geringen Abweichung dieses Werthes von 1 ist der aus obiger Formel sich ergebende Werth von

$$q^* = \frac{nqr}{(n-1)\,q - r} = \frac{nq}{(n-1)\,\frac{q}{r} - 1}$$

von $-nq$ nicht merklich verschieden, so lange nicht $\frac{q}{r}$ eine sehr

grosse Zahl ist, d. h. so lange nicht die Entfernung des Strahlencentrums von der vorderen Hornhautfläche sehr gross ist gegen den Halbmesser derselben.

Das soeben gefundene Centrum des in der Hornhautsubstanz sich fortpflanzenden Strahlenbündels sehen wir nun als Objektpunkt an für die Brechung an der hinteren Hornhautfläche, deren Radius mit ϱ bezeichnet werden soll. Für die Brechung beim Uebergang aus Hornhautsubstanz in die dahinter gelegene wässrige Feuchtigkeit gilt nun natürlich als Brechungsindex der reciproke Werth von n, d. h. $\frac{1}{n}$ und es besteht also hier zwischen Objektabstand s und Bildabstand s^* die Gleichung

$$\frac{1}{s} + \frac{\frac{1}{n}}{s^*} = \frac{\frac{1}{n} - 1}{\varrho} \text{ oder } \frac{1}{s} + \frac{1}{ns^*} = -\frac{n-1}{n\varrho}.$$

Es handelt sich aber um Bestimmung des Bildes von dem vorhin gefundenen Bilde, dessen Abstand von der vorderen Hornhautfläche q^* war. Der Abstand dieses Punktes von der hinteren Fläche der Hornhaut hat zum numerischen Werth $q^* - d$, wenn d die Dicke der Hornhaut bedeutet. Da aber diese Grösse in die neue Rechnung als Objektabstand eingeht, so muss $s = -(q^* - d) = d - q^*$ gesetzt werden, und wenn man für q^* den gefundenen Näherungswerth $-nq$ einsetzt, so hat man die Gleichung

$$\frac{1}{d + nq} + \frac{1}{ns^*} = -\frac{n-1}{n\varrho}.$$

Hieraus ergiebt sich

$$s^* = -\frac{\frac{d}{n} + q}{(n-1)\frac{d+nq}{n\varrho} + 1}$$

also aus dem oben angeführten Grunde annäherungsweise

$$s^* = -\left(\frac{d}{n} + q\right).$$

Wenn wir aber die Entfernung des letzten Bildpunktes von der vorderen Hornhautfläche nach hinten durch p^* bezeichnen, so müssen wir zu dem soeben gefundenen Werthe von s^*, der von der zweiten Hornhaufläche nach hinten positiv gemessen wird, d addiren und haben also

$$p^* = d - \left(\frac{d}{n} + q\right) \text{ oder } p^* = -q + \frac{n-1}{n}d.$$

Da aber die positive Richtung für die Messung der Objektabstände

q nach vorn, der Bildabstände p^* nach hinten geht und die Rechnung sehen lässt, dass p^* und q entgegengesetztes Zeichen haben, ihr absoluter Werth aber sich nur um die sehr kleine Grösse

$$\frac{n-1}{n}\,d$$

unterscheidet, so zeigt sich, dass der Bildpunkt, den die beiden Brechungen an den Grenzen der Hornhautsubstanz hervorbringen, mit dem Objektpunkt fast genau zusammenfällt. Objektpunkt aber war das Centrum des in der kapillären Schicht vor der Hornhaut sich fortpflanzenden Strahlenbündels. Man sieht also, dass die aus der Luft kommenden Strahlenbündel in der wässrigen Feuchtigkeit fast genau ebenso verlaufen, als wenn man sich dieselbe bis an die vordere Hornhautfläche erstreckt denkt. Diese letztere Annahme kann man also getrost machen, was die weiteren Betrachtungen wesentlich vereinfacht. Doch mag noch hervorgehoben werden, dass diese Vereinfachung nur zulässig ist für Strahlenbündel, deren Centrum nicht sehr weit von der vorderen Hornhautfläche liegt, denn die Annäherung beruht ja darauf, dass die Grössen

$$(n-1)\,\frac{q}{r} \text{ und } (n-1)\,\frac{d+nq}{n\varrho}$$

gegen 1 vernachlässigt werden, was nur angeht, wenn

$$\frac{q}{r} \text{ und } \frac{q}{\varrho}$$

nicht sehr gross sind. Sie gilt also eigentlich nicht mehr, wenn q sehr gross ist, was bei Strahlenbündeln der Fall sein wird, die von Punkten in der Luft sehr nahe am Auge ausgegangen sind, und die also in der kapillären Schicht an der vorderen Hornhautfläche nahezu parallelstrahlig sein werden. Solche Strahlenbündel kommen indessen beim Sehakt im engeren Sinne des Wortes nicht in Betracht.

Jetzt muss zunächst die Entfernung des Scheitels der vorderen Linsenfläche vom Hornhautscheitel bestimmt werden. Um dies am Lebenden ausführen zu können, hat Helmholtz ziemlich verwickelte Methoden angewandt, denen der folgende Gedankengang zu Grunde liegt. Erstens lässt sich ganz exakt nachweisen, dass, wie schon oben bemerkt wurde, der Pupillenrand der vorderen Linsenfläche unmittelbar anliegt. Wenn man nämlich einen sehr starken Lichtkegel, etwa von einer hellen Lampenflamme, durch eine Konvexlinse in das Auge fallen lässt, so erscheint die Linse graulich getrübt, indem in der starken Beleuchtung die Grenzen zwischen den Formelementen derselben hinlänglich viel Licht zerstreuen, um sichtbar zu werden. Wäre nun die Pupillarebene von der vorderen Linsen-

fläche durch einen Zwischenraum getrennt, so müsste von der Iris ein Schlagschatten auf die Linse fallen, der bei schrägem Einblick als eine dunkle Zone zwischen dem Pupillarrande und dem beleuchteten Theile der Linse sichtbar werden müsste, da dies nie der Fall ist, so besteht ein solcher Zwischenraum nicht. Der Linsenscheitel liegt also in der Pupillarebene sofern man von der Vorwölbung der konvexen Linsenfläche in die Pupille hinein absieht. Es wäre also zu dem vorgesetzten Zwecke genügend, die Entfernung der Pupillarebene vom Hornhautscheitel zu bestimmen, was folgendermaassen geschehen kann. Ist für das zu untersuchende Auge die Krümmung der Hornhaut und die Lage ihrer grossen Axe zur Gesichtslinie nach den früher beschriebenen Methoden bekannt, so kann man einerseits genau den Ort angeben, wo das Spiegelbild eines bestimmten leuchtenden Punktes liegt. Ferner kann man dann auch noch, wenn für den Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit ein bestimmter Werth angenommen wird, die Beziehung herstellen zwischen der wirklichen Entfernung der Pupillarebene von der vorderen Hornhautfläche und der Entfernung des (virtuellen) Bildes derselben, das entsteht durch die Brechung der von den Punkten des Pupillarrandes ausgegangenen Strahlenbündel an der vorderen Hornhautfläche bei ihrem Austritt in die Luft. Wir können dieses Bild die scheinbare Pupille nennen, sofern es das ist, was man als Pupille eines fremden Auges wirklich sieht.

Blickt man nun in ein Auge durch den Ophthalmometer und sucht eine Stellung so, dass die Doppelbilder des Hornhautreflexes von einem bekannten leuchtenden Punkt mit je einem Doppelbilde der Enden des wagrechten Durchmessers der scheinbaren Pupille zusammenfallen, so muss offenbar die auf das Hornhautspiegelbild gerichtete Axe des Ophthalmometers durch den Mittelpunkt der scheinbaren Pupille gehen. Sucht man nun zwei verschiedene solche Stellungen des Ophthalmometers in derselben horizontalen Meridianebene des Auges, so hat man zwei Richtungen, die sich nothwendig im Mittelpunkte der scheinbaren Pupille schneiden. Da auf jeder dieser Richtungen ein im Auge gelegener Punkt, nämlich der Ort des betreffenden Hornhautspiegelbildchens bekannt ist, so kann auch der Durchschnitt bestimmt werden. Ist dieser, d. h. also der Mittelpunkt der scheinbaren Pupille gefunden, so kann dann auch der Mittelpunkt der wirklichen Pupille bestimmt werden.

Die Ergebnisse der Messungen von Helmholtz an denselben 3 Augen, auf welche sich die obigen Messungen S. 48 beziehen, sind in nachstehender kleinen Tabelle verzeichnet.

		A	B	C
Abstand der Pupillarebene vom Scheitel der Hornhaut	scheinbar	3,485	3,042	3,151
	wirklich	4,024	3,597	3,739

Es verdient noch erörtert zu werden, warum die scheinbare Pupille vor der wirklichen liegt. Bei der kollektiven Natur des Systemes Luft-wässrige Feuchtigkeit getrennt durch die nach der Luftseite konvexe Hornhautfläche (siehe S. 12), hat man nämlich im allgemeinen allerdings zu erwarten, dass ein von einem Punkte in der wässrigen Feuchtigkeit ausgehendes Strahlenbündel beim Austritt in die Luft verwandelt wird in ein solches, dessen Strahlen konvergiren resp. weniger divergiren als vor der Brechung, dass demnach das virtuelle Bild eines solchen Punktes, wofern ein solches zu Stande kommt, hinter dem Objektpunkte liegt. Dies gilt aber, wie schon die Anschauung der Einfallslothe lehrt, nicht für Objektpunkte zwischen dem Mittelpunkte und der brechenden Fläche selbst oder für Werthe von $p < r$. Dasselbe ergiebt auch die Diskussion der Formel S. 9) Da nun die Punkte der Pupille diese Lage haben, so ist die anscheinende Paradoxie gehoben.

Die Bestimmung der ferneren Constanten des brechenden Systemes am lebenden Auge fusst wesentlich auf der Beobachtung der an der vorderen und hinteren Linsenfläche erzeugten Spiegelbilder der sogenannten Sanson-Purkinje'schen Bilder. Es ist daher zunächst zu beschreiben, wie dieselben überhaupt zur Anschauung gebracht werden können. In gleicher Höhe mit dem zu beobachtenden Auge bringe man wenige Decimeter von demselben entfernt eine helle Kerzenflamme und in grosser Entfernung von ihm ein zu fixirendes Zeichen an. Der Winkel zwischen der Gesichtslinie des beobachteten Auges und seiner Verbindungslinie mit der Kerzenflamme mag etwa 45° betragen. Die Kerzenflamme muss einen dunklen Hintergrund haben damit keine störenden Hornhautreflexe entstehen. Der Beobachter bringt nun sein Auge in der für ihn passenden Sehweite in gleiche Höhe mit dem beobachteten Auge und blickt in einer Richtung hinein, welche mit dessen Gesichtslinie auf der anderen Seite ungefähr denselben Winkel bildet, wie die Richtung von der Flamme zum beobachteten Auge. Die Anordnung von Flamme *C* Gesichtszeichen *f* beobachtendem Auge *B* und beobachtetem Auge *A* ist in Figur 9 im Grundriss dargestellt. Der Beobachter gewahrt dann nach einigem Suchen durch Hin- und Hergehen um die Lage *B* herum die 3 Reflexbilder etwa in der Fig. 10 dargestellten Reihen-

folge wenn er die Lichtflamme zu seiner Linken[1] hat. Die schwarze Scheibe soll die Pupille des beobachteten Auges bedeuten. Das von

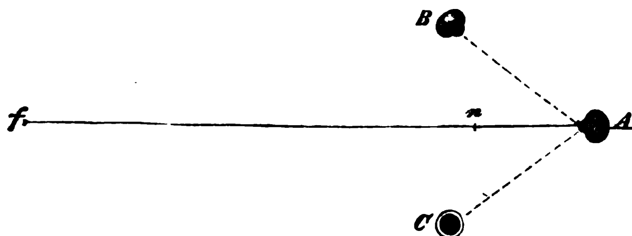


Fig. 9.

der Hornhautfläche gelieferte Spiegelbild *a* braucht übrigens nicht nothwendig im Bereich der Pupille zu erscheinen, wird es aber in der Regel bei den vorhin beschriebenen Anordnungen. *b* ist das von der vorderen Linsenfläche gelieferte Spiegelbild. Es ist wie der Hornhautreflex ein aufrechtes Bild der Lampenflamme aber gegen jenen ein äusserst matter Schimmer mit nicht ganz scharfer Grenze. Die Form der Flamme ist gleichwohl ungefähr zu erkennen und man bemerkt leicht, dass es bei weitem grösser ist als der Hornhautreflex. Wenn man das eigene Auge ein wenig hin- und herbewegt, so ändert das Bildchen *b* seine perspektivische Stellung in der Pupille bedeutend im gleichen Sinne mit der Bewegung des beobachtenden Auges und verschwindet meist schon bei mässigen Bewegungen hinter dem Pupillenrand. Daraus geht hervor, dass der Ort dieses (virtuellen) Bildchens weit (etwa 8 — 12 mm.) hinter der Pupille ist. Das dritte Bildchen *c* verdankt seine Entstehung der Spiegelung an der hinteren Linsenfläche; es ist ebenfalls bedeutend lichtschwächer als der Hornhautreflex und noch kleiner; als Spiegelbild von einem Hohlspiegel mit kleinem Radius ist es umgekehrt. Aus den kleineren perspektivischen Verschiebungen bei Bewegungen des beobachtenden Auges kann man schliessen, dass sein Ort nur etwa 1 mm. hinter der Pupillenebene liegt.



Fig. 10.

Wenn man nun von einem Gegenstand bekannter Grösse und bekannter Entfernung vom beobachteten Auge, das durch Reflex an

---

1 Durch ein Versehen ist in Fig. 9 der Grundriss der Versuchsanordnung so dargestellt, dass der Beobachter die Lichtflamme zur Rechten hat. In diesem Falle würde die Anordnung der 3 Bildchen *a*, *b*, *c* die umgekehrte sein wie in Fig. 10.

der vorderen Linsenfläche entstehende Bild messen kann, so lässt sich daraus der Krümmungshalbmesser dieser als Kugelabschnitt betrachteten Fläche berechnen. Jedoch muss von demselben Auge noch bekannt sein die Krümmung der Hornhaut, der Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit und die Entfernung des Linsenscheitels vom Hornhautscheitel. Das fragliche Reflexbild entsteht nämlich nicht durch blosse Reflexion an der vorderen Linsenfläche, vielmehr erleiden die vom Objektpunkte ausgehenden Strahlenbündel zunächst eine Brechung an der Hornhautgrenze dann die Reflexion und endlich wieder eine Brechung an der vorderen Hornhautfläche beim Rücktritt in die Luft. Dies dioptrisch-katoptrische System Luft, wässrige Feuchtigkeit, Linsenfläche, wässrige Feuchtigkeit, Luft lässt sich natürlich nach den Principien des ersten Abschnittes behandeln und wenn seine Constanten bis auf eine — hier den Halbmesser der spiegelnden vordern Linsenfläche — durch vorläufige andere Messungen bekannt sind, so kann eine fehlende berechnet werden, wenn man für ein bestimmtes Objekt die Grösse des Bildes gemessen hat.

Die Messung des Reflexbildes von der vorderen Linsenfläche kann nicht gut direkt mit dem Ophthalmometer ausgeführt werden weil es zu lichtschwach ist. HELMHOLTZ hat es daher indirekt gemessen durch Vergleichung mit einem Hornhautspiegelbild von einem andern Objekte, dessen Grösse beliebig verändert werden kann bis sein Hornhautbild dem zu messenden Linsenbild der stärkeren Lichtquelle gleich geworden ist.

Auf diese Weise hat HELMHOLTZ immer an denselben drei Augen den Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche bestimmt und zwar gefunden

für das Auge	*A*	*B*	*C*
	11,9	8,8	10,4.

Es gilt jetzt endlich noch die Lage und Krümmung der hinteren Linsenfläche zu ermitteln. Die Entfernung eines dem Scheitel jedesfalls sehr benachbarten Punktes der hinteren Linsenfläche vom Hornhautscheitel hat HELMHOLTZ am lebenden Auge sehr annähernd bestimmt nach einer Methode, die sich auf folgende Betrachtung gründet. Ein in *D* (Fig. 11) befindliches beobachtendes Auge sehe in der Richtung *Dd* das von der hinteren Linsenfläche des beobachteten Auges gelieferte Spiegelbild einer bei *C* befindlichen Lichtflamme. Bei der Kleinheit dieses Spiegelbildchens wird man den Theil der spiegelnden Fläche, welcher die wirksamen Strahlen liefert als einen Punkt ansehen können, er ist mit *i* bezeichnet und es ist alsdann die ge-

brochene Linie $CcidD$ der Gang eines Lichtstrahles der von C in der Luft ausgeht, erst an der vorderen Hornhautfläche bei c, dann in einem nicht bezeichneten Punkte) an der vorderen Linsenfläche gebrochen hierauf reflektirt wiederum zweimal gebrochen bei d in Luft zurücktritt und sich nach D fortpflanzt. Genau denselben Weg würde ein von D ausgehender Lichtstrahl in umgekehrter Richtung verfolgen also am selben Punkte c, wo der erstgedachte eintrat, die Hornhaut verlassen um sich nach C fortzupflanzen. Man kann somit den Durchschnittspunkt h der beiden Richtungen cC und dD ansehen als das (virtuelle) Bild des in der Linsensubstanz gelegenen Objektpunktes i geliefert durch das brechende System Linsensubstanz — wässrige Feuchtigkeit — Luft. Könnte also die Lage von h zur Hornhaut genau bestimmt werden, so würde sich die Lage von i berechnen lassen, da die Constanten des genannten Systems nämlich der Halbmesser der Hornhaut der Ort der vorderen Linsenfläche sowie deren Halbmesser und endlich auch die Brechungsindices der wässrigen Feuchtigkeit und der Linsensubstanz für das Auge schon bekannt sind.

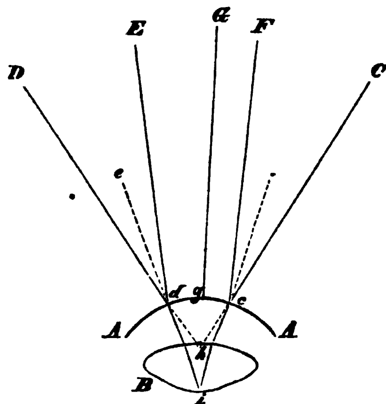


Fig. 11.

Die Lage des Punktes h oder des scheinbaren hinteren Linsenscheitels zur Hornhaut kann aber nur dann genau bestimmt werden, wenn die Punkte c und d an der Hornhaut genau bekannt sind, an welchen die beiden Strahlen in den bekannten Richtungen cC und dD aus der Hornhaut austreten. Bei der ersten oben gedachten Beobachtung kann nun schon der Punkt d bestimmt werden indem man gleichzeitig mit dem Reflex der Flamme C von der hinteren Linsenfläche einen Hornhautreflex einer anderen kleineren Flamme E beobachtet und diese so lange verrückt, bis ihr Hornhautreflex mit jenem Linsenreflex zusammenfällt dann ist offenbar der gesuchte Punkt d die spiegelnde Stelle der Hornhaut, diese aber kann gefunden werden, wenn man noch zuvor den Punkt g bestimmt hat wo die ebenfalls der Lage nach bekannt vorausgesetzte Gesichtslinie gG' des beobachteten Auges die Hornhaut schneidet. Die Data der Beobachtung bestimmen nämlich den Winkel zwischen Ed und Gg, sowie den Winkel EdD dessen Hälfte zu jenem zwischen Ed und Gg

addirt den Centriwinkel der beiden durch *d* und *g* gehenden Hornhautradien ausmachen. Man kann sonach auch die Länge des Bogens *gd* und folglieh den Ort des Punktes *d* auf der Hornhaut bestimmen. Um ebenso den Punkt *c* zu finden, muss eine zweite Beobachtung gemacht werden, in welcher die Flamme nach *D* und das beobachtende Auge nach *C* gebracht wird und wo abermals eine zweite kleinere Flamme bei *F* so gestellt wird, dass ihr Hornhautreflex mit dem Linsenreflex von *D* zusammenfällt. Sind aber die Punkte *d* und *c* auf dem Hornhautbogen *AA* bekannt, so findet sich, indem man durch *d* und *c* in den Richtungen *Dd* und *Cc*, deren Winkel mit der Gesichtslinie bekannt sind, Gerade zieht der Punkt *h* als ihr Durchschnittspunkt. Aus dem Abstand des Bildes *h* von der Hornhaut kann dann wie schon gesagt die Entfernung des Objektpunktes *i* von ebenda berechnet werden. An den drei Augen, an welchen auch die anderen Messungen ausgeführt sind, fand auf diese Weise Helmholtz:

	A	*B*	*C*
Scheinbare Entfernung des hinteren Linsenscheitels von der Hornhaut (*h*)	6,775	7,003	6,658
Wirkliche Entfernung (*i*)	7,172	7,232	7,141

Zieht man hiervon die früher gefundenen Werthe für die Entfernung der Pupillarebene von der Hornhaut ab, so erhält man für die Dicke der Linse in der Axe gemessen die Werthe

3,148 mm. 3,635 mm. 3,402 mm.

Eine kleine Correktion bedürfen diese Werthe noch wegen der Vorwölbung der vorderen Linsenfläche in die Pupille. Mit Berücksichtigung der gemessenen vorderen Linsenkrümmung und der Pupillenweite hat Helmholtz als korrigirte Werthe für die Linsendicke der drei Augen gefunden

3,414 mm. 3,801 mm. 3,555 mm.

Der grösste dieser Werthe erreicht aber noch nicht den kleinsten Werth der Linsendicke nämlich 4 mm. wie ihn frühere Forscher durch Messung an Leichenaugen bestimmt haben. Helmholtz glaubt dies nicht auf individuelle Zufälligkeiten beziehen zu dürfen, sondern auf einen gespannten Zustand, in welchem sich die Linse während des Lebens befinde, wovon weiter unten noch zu handeln sein wird.

Was endlich den Halbmesser der hinteren Linsenfläche betrifft,

so könnte man denselben aus der Grösse des Reflexbildes in ganz ähnlicher Weise für ein lebendes Auge berechnen. Hier würden aber in die Rechnung noch zwei Elemente mehr eingehen nämlich die soeben bestimmte Linsendicke und der Brechungsindex der Linsensubstanz, von denen namentlich dem letzteren wie wir sahen doch nur mit einer gewissen Willkür ein bestimmter numerischer Werth beigelegt werden kann. Man könnte sich daher wohl damit begnügen, dem Krümmungshalbmesser einen Werth beizulegen, wie er sich aus Messungen an Leichenlinsen ergiebt nämlich in runder Zahl 6 mm.

Die im Vorstehenden beschriebenen ophthalmometrischen Methoden sind von Helmholtz später vervollkommnet worden, so dass seine Schüler[1] direkt die Grösse der Reflexbilder an den Linsenflächen ophthalmometrisch messen konnten. Es kommt für diesen Zweck wesentlich darauf an, ein sehr helles Objekt zu benutzen. Als solches diente die Zusammenstellung der Sonne mit einem Spiegelbild derselben. Nach dieser verbesserten Methode fand sich für ein gewisses Auge der Halbmesser der vorderen Linsenfläche = 9,8243 mm. und der der hinteren = 6,1249 mm.

Es ist jetzt noch die Frage aufzuwerfen, in wie weit die Mittelpunkte der drei als Kugelabschnitte betrachteten brechenden Flächen in eine grade Linie fallen und wie zu dieser Linie — der Augenaxe — die als Gesichtslinie definirte Gerade liege, deren Richtung durch den Fixationspunkt immer leicht zu bestimmen ist.

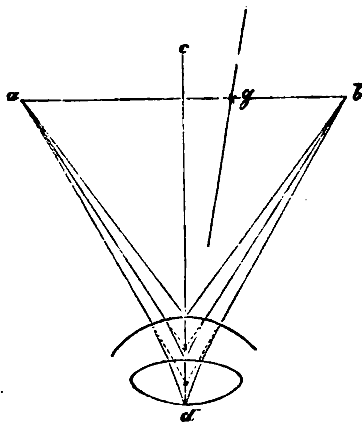


Fig. 12.

Helmholtz hat zu diesem Zwecke folgendes Verfahren angewendet. Man denke sich bei *d* Fig. 12 das beobachtete Auge, dessen Linse und Hornhaut im Meridianschnitt angedeutet sind. Bei *a* sei das Auge des Beobachters und bei *b* eine Lichtflamme. Wäre nun das beobachtete Auge genau centrirt, d. h. lägen die Mittelpunkte der drei spiegelnden Flächen genau auf einer Geraden, so müsste eine Stellung desselben ermittelt werden können, bei welcher seine Axe, nämlich die Gerade, welche die drei Mittelpunkte enthält,

1 Rosow, Zur Ophthalmologie. Arch. f. Ophthalmometrie XI. 2. Abth. S. 129.

den Winkel genau halbirt, den die Richtungen von *b* und von *a* nach einem Punkte dieser Axe mit einander machen. Behielte das beobachtete Auge diese Stellung bei, so müssten, wenn Beobachter und Licht ihre Orte vertauschen, die drei Reflexbilder wieder ganz genau nur umgekehrt in derselben Lage erscheinen wie vorher. Ueberdiess müsste in beiden Fällen das Spiegelbild von der vorderen Linsenfläche ziemlich genau in der Mitte liegen zwischen dem Hornhautreflex und dem hinteren Linsenreflex da der scheinbare vordere Linsenscheitel ziemlich genau mitten zwischen dem Hornhautscheitel und dem scheinbaren hinteren Linsenscheitel liegt.

Helmholtz prüfte nun viele verschiedene Augen auf folgende Art. Dem beobachteten Auge wurde aufgegeben ein verschiebbares Gesichtszeichen *g* zu fixiren. Dies wurde dann so lange hinuntergerückt bis von *a* aus gesehen das vordere Linsenbild mitten zwischen dem Hornhautbild und dem hinteren Linsenbild von *b* erschien. Es ergab sich vor allem, dass dies niemals eintrat, wenn *g* in der Linie *cd* stand, welche den Winkel zwischen *ad* und *bd* halbirte, immer musste *g* etwas nasenwärts von *c* und oberhalb der Ebene *abd* befinden. Ferner zeigte sich, dass stets die drei Bilder sehr merklich andere gegenseitige Lagen hatten, wenn bei festbleibendem beobachteten Auge die Flamme und das Auge des Beobachters ihre Orte vertauschten. Hieraus geht hervor, dass das menschliche Auge nie ganz genau centrirt ist, um aber doch wenigstens annähernd eine Gerade als Augenaxe definiren und ihren Winkel mit der Gesichtslinie angeben zu können, machte Helmholtz für die drei Augen, an welchen die sämmtlichen übrigen Grössen gemessen waren, folgende Bestimmungen. Nach Vertauschung der Flamme und des beobachtenden Auges wurde von Neuem das Gesichtszeichen *g* so lang verschoben, bis das vordere Linsenspiegelbild wieder in der Mitte zwischen den beiden andern lag. So erhielt er für jedes Auge zwei Winkel zwischen der Gesichtslinie und der Halbirungslinie des Winkels zwischen den Richtungen *ad* und *bd*, deren Werthe, wie aus nachstehender Tabelle ersichtlich ist, nicht sehr weit von einander abweichen. Ihre Differenz giebt eine Vorstellung von der Mangelhaftigkeit der Centrirung des Auges.

Auge	Winkel	
	Licht von der Nasenseite.	Licht von der Schlafenseite.
A	3°47′	4°57′
B	5°6′	8°12′
C	5°43′	7°44′

Das arithmetische Mittel zwischen diesen beiden Winkeln kann man ansehen als den Winkel zwischen der Gesichtslinie und derjenigen Geraden im Auge, die wenigstens annähernd als Symmetrieaxe des Auges gelten kann.

VIERTES CAPITEL.

Das schematische Auge.

I. Die Kardinalpunkte des schematischen Auges.

Aus den Bestimmungen des vorigen Capitels geht hervor, dass das menschliche Auge keineswegs ein vollkommenes centrirtes System sphärischer Trennungsflächen zwischen verschieden brechenden durchsichtigen Medien darstellt, wie es in den Entwickelungen des ersten Capitels vorausgesetzt wird. Sowohl die Kugelgestalt als die Centrirung der Flächen des Auges steht weit zurück hinter der unserer künstlichen optischen Werkzeuge. Es ist ferner zu bemerken, dass nur bei ziemlich enger Pupille und für Objektpunkte, die nicht weit seitwärts von der Axe liegen, die einschränkenden Bedingungen erfüllt sind, unter welchen die im ersten Abschnitte entwickelten Regeln Geltung haben. Da nun aber für die zunächst um die Scheitel herumliegenden Theile der Trennungsflächen die Abweichungen von der Kugelgestalt nur klein sein können und auch wenigstens eine annähernde Centrirung statthat, so ist es jedesfalls gestattet, fürs erste auf das Auge die für ein centrirtes System sphärischer Trennungsflächen gültigen Regeln anzuwenden, um eine annähernd richtige Vorstellung vom Gange der Lichtstrahlen durch dasselbe zu erhalten.

Zu diesem Zwecke hat HELMHOLTZ aus dem mitgetheilten Material ein System von Werthen der einzelnen Constanten in abgerundeten Zahlen ausgewählt, das sicher im Bereiche der normalen individuellen Schwankungen gelegen ist und das also einem wirklichen Auge zukommen könnte. Wir wollen dies System als schematisches Auge bezeichnen.

Die gewählten Werthe sind folgende:

Brechungsindex der Luft	1
Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit	$^{103}/_{77}$
Brechungsindex der Linsensubstanz	$^{16}/_{11}$
Brechungsindex des Glaskörpers	$^{103}/_{77}$

Halbmesser der Hornhautkrümmung	8 mm.
Halbmesser der vorderen Linsenkrümmung	10 „
Halbmesser der hinteren Linsenkrümmung	6 „
Abstand des vorderen Linsenscheitels vom Hornhautscheitel	3,6 „
Abstand des hinteren Linsenscheitels vom Hornhautscheitel	7,2 „

Es mag bemerkt sein, dass schon vor mehr als dreissig Jahren LISTING aus dem damals vorliegenden Material von sehr unvollkommenen Messungen mit überaus glücklichem Takte ein schematisches Auge kombinirt hat, das nur wenig von dem obigen abweicht.

Nach dem Erscheinen von HELMHOLTZ's Arbeiten sind von seinen Schülern und von andern neueren Forschern insbesondere von WOINOW, KNAPP, BECKER, MAUTHNER, HIRSCHBERG zahlreiche ophthalmometrische Untersuchungen an lebenden Augen angestellt. Ihre Resultate würden vielleicht gestatten ein neues System von optischen Constanten zu bilden, das mit noch grösserem Rechte als das HELMHOLTZ'sche schematische Auge Anspruch machen könnte, das mittlere normale menschliche Auge darzustellen. Ich habe mich gleichwohl nicht zu dieser Neuerung entschliessen können. Die HELMHOLTZ'schen Werthe, die sich leicht dem Gedächtnisse einprägen, haben sich mit Recht in alle Darstellungen eingebürgert und würde eine neue Auswahl nur verwirren, ohne doch einen wesentlichen Vortheil zu bringen, da die neu zu wählenden Werthe doch nur sehr wenig von den HELMHOLTZ'schen verschieden sein könnten. Diese widersprechen keiner einzigen wesentlichen Erscheinung des Sehens.

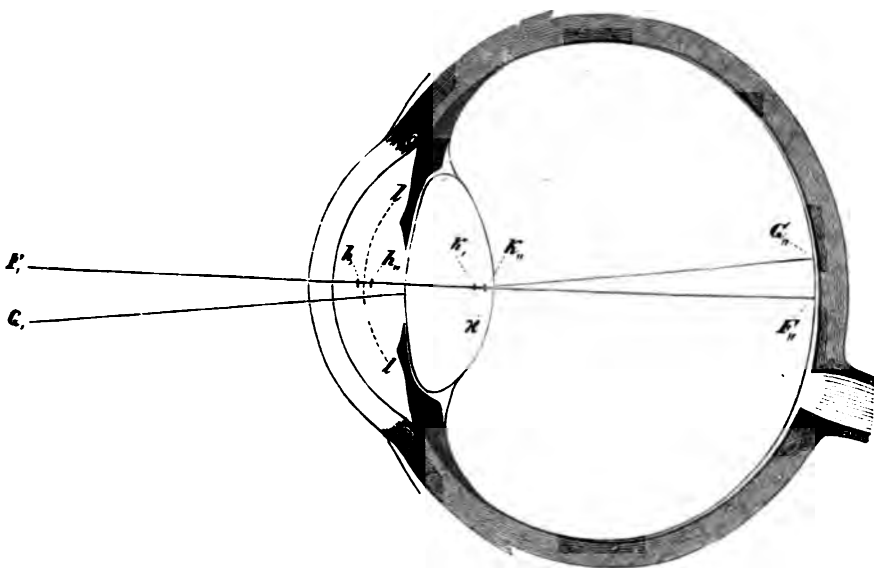
Wenn man das System der gewählten Constanten in die Rechnung S. 23 f. einsetzt, so ergiebt sich die Lage der Kardinalpunkte in der Axe des Auges wie folgt. Dabei ist als Anfangspunkt der Scheitel der Hornhaut genommen und die Coordinate eines Punktes positiv gerechnet, wenn der Punkt hinter der Hornhaut, negativ, wenn er vor der Hornhaut in der Luft liegt:

Erster Brennpunkt	F	— 12,92
Erster Hauptpunkt	E	1,94
Zweiter Hauptpunkt	E^*	2,36
Erster Knotenpunkt	K	6,95
Zweiter Knotenpunkt . . .	K^*	7,37
Zweiter Brennpunkt	F^*	22,23
Erste Brennweite $= E - F$.	f	14,86
Zweite Brennweite $= F^* - E^*$	f^*	19,87

Da, wie vorstehende Tabelle zeigt, die beiden Hauptebenen sehr nahe zusammenliegen, so kann man sie für die weiteren Construktionen zu einer einzigen verschmolzen denken, welche eine mittlere Lage einnimmt. Ebenso kann man die beiden Knotenpunkte in einen ein-

zigen verschmelzen. Diese Verschmelzung würde soviel heissen als: die sämmtlichen Brechungen in den Augenmedien bringen fast genau dieselbe Wirkung hervor, welche eine einzige Fläche hervorbringen würde, welche Luft und Glaskörper trennte, deren Scheitel im verschmolzenen Hauptpunkte läge und deren Halbmesser gleich der Entfernung des einen Hauptpunktes von dem einen Knotenpunkte wäre.

Da nun nach den obigen Angaben die Länge der Augenaxe von Pol zu Pol 23—26 mm. beträgt und da den normalsichtigen Augen im Allgemeinen gerade die kleineren Werthe der Axenlänge zukommen, so hindert uns nichts unserem schematischen Auge eine Axenlänge von 23 mm. beizulegen. Wenn man alsdann auf die Dicke der Sclerotica und Chorioidea 0,76 mm. in Abzug bringt, so fällt der hintere Brennpunkt des Auges in den Bereich der äusseren Netzhautschichten und das nächste Stück der Netzhaut um den hinteren Pol herum, soweit es noch als eben betrachtet werden kann, fällt mit der hinteren Brennebene des Auges zusammen.



Die Lage der Kardinalpunkte des schematischen Auges sowie der Trennungsflächen und der Sclerotica ist in dreifacher Vergrösserung aller Abmessungen in Fig. 13 dargestellt. *ll* ist die gedachte

einzige Trennungsfläche zwischen Luft und Glaskörper, welche annähernd dieselbe Wirkung hervorbringen würde, wie die wirklichen Brechungen im Auge. $\varkappa$ ist der verschmolzene Kreuzungspunkt $h_{,}$ und $h_{,,}$ sind die beiden Hauptpunkte, welche sonst im Text mit EE^* bezeichnet sind. $K_{,}$ und $K_{,,}$ sind die Knotenpunkte, $F_{,}$ und $F_{,,}$ die Brennpunkte. Im übrigen wird die Figur keine Erklärung bedürfen. Sie kann als Darstellung eines wagrechten Meridianschnittes durch ein rechtes Auge von oben betrachtet angesehen werden.

Den Strahl des von einem Objektpunkte ins Auge fallenden Strahlenbündels, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nennt man den „Richtungsstrahl" des Objektpunktes. Den aus der Verschmelzung beider Knotenpunkte entstehenden Punkt nennt man daher auch den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen. Den Winkel zwischen den beiden Richtungsstrahlen zweier Objektpunkte nennt man den „Gesichtswinkel" oder „Sehwinkel", unter welchem der Abstand der beiden Objektpunkte erscheint.

Man hat sich wiederholt bestrebt einen oder den andern der Kardinalpunkte des Auges direkt am lebenden Auge zu bestimmen, aber erst in allerjüngster Zeit ist es Bernstein gelungen, eine von allen principiellen Einwänden freie Methode zu finden, wonach die Lage des einen Knotenpunktes wenigstens annähernd bestimmt werden kann. Der Grundgedanke dieser Methode von einigen kleinen Correktionen abgesehen ist folgender.

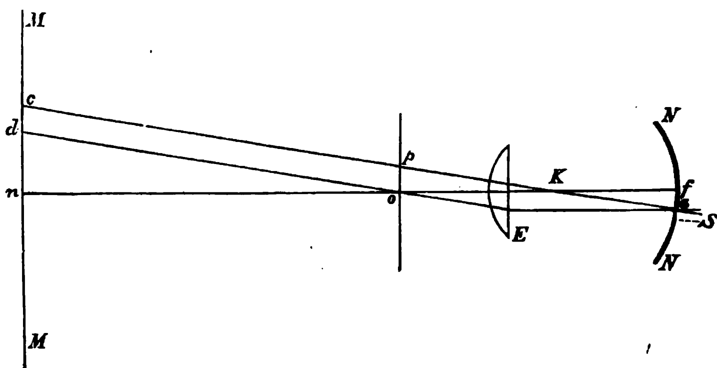


Fig. 14.

NN sei der wagrechte Meridianschnitt einer Netzhaut die mit der Brennebene zusammenfällt, bei S sei die Eintrittsstelle des Sehnerven. In nicht grosser Entfernung sei ein Fixationszeichen bei n aufgestellt und hier befinde sich senkrecht zur Gesichtslinie fn ein Maasstab MM. Längs desselben verschiebe man einen leuchtenden Punkt und merke dessen Lage c, für welche sein Bild von f aus an die Eintrittsstelle des Sehnerven

bei a kommt, was sich dadurch zu erkennen giebt, dass in diesem Augenblick der Punkt für das Auge verschwindet wie später entwickelt werden wird. Offenbar liegt der Knotenpunkt K auf der Linie ca. Jetzt wird nahe vor das Auge in genau gemessener Entfernung von der Hornhaut ein Schirm senkrecht zur Gesichtslinie gestellt mit einem feinen Löchelchen o das in die Gesichtslinie gebracht wird. Durch dasselbe fixirt wieder das Auge und zwar ohne alle Anspannung des Akkommodationsapparates das Gesichtszeichen n. Jetzt wird der leuchtende Punkt so lange verschoben bis der von ihm durch o gehende Strahl wieder den Punkt a am Rande der Eintrittsstelle des Sehnerven trifft. Die dazu erforderliche Lage sei d, dann ist offenbar, weil NN die Brennebene des Auges ist, die Richtung do parallel zu ca und $dc = op$ mithin

$$oK = \frac{on}{dn} \cdot op = \frac{on}{dn} dc,$$

da aber die Längen on, dn, dc direkt gemessen sind, kann man oK berechnen und wenn man hiervon den Abstand des Schirmes von der Hornhaut abzieht, so hat man die Entfernung des Knotenpunktes von der Hornhaut. Da nun aber der Punkt n und der Maassstab, wie man leicht sieht, nicht sehr weit vom Auge abstehen darf, so muss das Auge zuerst ohne Schirm mit Anspannung des Akkommodationsapparates fixiren wodurch, wie schon eingangs angedeutet, eine kleine Correktion nöthig wird, eine zweite Correktion ist erforderlich, wenn man die Verschmelzung der beiden Knotenpunkte in einen einzigen nicht zulassen will. Bernstein hat nach dieser Methode an einem Auge 3 Systeme von Messungen ausgeführt, welche die sehr gut übereinstimmenden Werthe von 7,22; 7,38; 7,21 mm. für den Abstand des Knotenpunktes vom Hornhautscheitel ergaben. Wie man sieht stimmen diese Werthe auch sehr nahe zusammen mit dem für das schematische Auge berechneten Werthe dieser Grösse.

Eine andere Methode hat neuerdings Badal[1] angegeben um den Knotenpunkt zu bestimmen. Sie gründet sich auf die Bemerkung dass der Brennpunkt einer vor das Auge gehaltenen Linse mit dem Knotenpunkt zusammenfallen muss, wenn durch dieselbe gesehen dasselbe Objekt in verschiedenen Abständen unter demselben Gesichtswinkel erscheint.

II. Das emmetropische Auge.

Der optische Erfolg, der für das schematische Auge berechneten Lage der Cardinalpunkte und insbesondere der Annahme des Zusammenfallens der Polarzone der Netzhaut mit der zweiten Brennebene kann in folgenden Sätzen ausgesprochen werden: Alle parallelstrahlig einfallenden Bündel, die nur wenig schräg zur Axe verlaufen werden in Punkten der als eben betrachteten Polarzone der Netzhaut vereinigt; oder mit andern Worten: Die Bildpunkte aller Objektpunkte, deren Entfernungen als unendlich gross gegen die Brennweiten gelten

1 Gaz. d. hôpitaux 1877. p. 379 und Gaz. méd. d. Paris 1877. p. 225.

können und die gar nicht oder wenig abseits von der Axe liegen, fallen in Punkte der Polarzone der Netzhaut.

Hiermit stimmt die allgemein bekannte Thatsache überein, dass es viele Augen giebt, welche kosmische Objekte wie den Mond und die Sterne oder auch sehr entfernte terrestrische wie einen Berggipfel und dergl. vollkommen deutlich sehen, was ja die Entstehung eines deutlichen Bildes in Coincidenz mit einer Netzhautschicht zur Voraussetzung hat. Man pflegt diese Beschaffenheit des Auges als die eigentlich normale anzusehen, und man nennt ein Auge, bei welchem die hintere Brennebene mit der Polarzone der Netzhaut zusammenfällt, ein „emmetropisches“.

Es verdient ausdrücklich hervorgehoben zu werden, dass die bis jetzt angestellten Betrachtungen gar nichts aussagen über den Gang derjenigen Strahlenbündel durch das Auge, welche von weit abseits der Axe gelegenen Punkten ausgegangen sind, denn auf solche sehr schräg durch ein System centrirter Trennungsflächen gehende Strahlen leiden die Gesetze des ersten Abschnittes keine Anwendung. Es verdient aber andererseits auch hervorgehoben zu werden, dass diese sehr schräg ins Auge gelangenden Strahlenbündel zum eigentlichen genauen Sehen so gut wie gar nicht beitragen, weil, wie später noch zu erörtern sein wird, nur ein sehr kleines Netzhautstück um den hinteren Pol herum so organisirt ist, dass dicht nebeneinander liegende Elemente unterscheidbare Empfindungen vermitteln können. Wie ausserordentlich begrenzt dieser fein organisirte Netzhautbezirk ist, kann man leicht durch folgenden Versuch erfahren. Man lege ein Buch mit gewöhnlicher Druckschrift in etwa 25 cm. Entfernung vor das Auge, bedecke es mit einem weissen Blatt Papier, auf welchem ein Punkt als Fixationszeichen angebracht ist, nun rücke man für einen Moment das bedeckende Blatt fort und schiebe es sofort wieder an seine vorige Stelle. Man wird dann schwerlich mehr als ein Wort von 5 mm. Länge deutlich lesen können, was einem Gesichtswinkel von etwas über 1^0 entspricht. Wenn also ein Objektpunkt nur soweit abseits der Axe liegt, dass sein Richtungsstrahl mit der Gesichtslinie (die hier als Axe gelten muss) einen Winkel von etwas über $\frac{1}{2}^0$ macht, so fällt der Bildpunkt schon auf Theile der Netzhaut, die für so genaues Sehen, wie es zum Lesen erforderlich ist, nicht mehr geeignet sind. Aus dem bloss dioptrischen Gesichtspunkt würden sicher weit mehr seitlich gelegene Objektpunkte noch zulässig sein. Wir sind somit berechtigt, fürs erste die schräg einfallenden Strahlenbündel noch ganz ausser Acht zu lassen und noch einige weitere Betrachtungen anzustellen, die sich in aller Strenge

nur auf Objektpunkte beziehen, deren Richtungsstrahlen sehr kleine Winkel mit der Axe bilden. Das Sehen der Objekte, deren Bilder ganz nahe an den Pol der Netzhaut fallen und das, wie soeben erörtert wurde, allein ein genaues ist, nennt man das „direkte Sehen". Im Gegensatze hierzu wird das Sehen weiter von der Axe entfernt gelegener Objekte das „indirekte Sehen" genannt.

Lassen wir jetzt einen Objektpunkt oder ein in einer zur Axe senkrechten Ebene befindliches System von Objektpunkten aus der unendlichen Ferne an ein emmetropisches Auge heranrücken, so wird das System von entsprechenden Bildpunkten aus der zweiten Brennebene also aus der Retina nach hinten herausrücken. Die konvergirenden Strahlenkegel werden also nicht mehr zur wirklichen Vereinigung kommen, sondern schon vor der Spitze in mehr oder weniger grossen Kreisen — sogenannten Zerstreuungskreisen — von der Netzhaut geschnitten werden. Indem mehrere solche Zerstreuungskreise, die benachbarten Objektpunkten entsprechen, in einander übergreifen und somit nicht mehr jeder Netzhautpunkt nur von einem leuchtenden Punkt aus erregt wird, können nicht mehr ebensoviele Objektpunkte durch gesonderte Empfindungen unterschieden werden, als es selbständig empfindende Stellen in dem beleuchteten Netzhautstücke giebt. Das heisst mit anderen Worten das Sehen hat nicht mehr den Grad von Deutlichkeit, welcher bei vollkommen scharfen optischen Bildern erreichbar ist.

Diese Undeutlichkeit des Sehens wird indessen noch nicht sehr merklich solange die Entfernung des Objektes vom emmetropischen Auge zwar endlich aber noch sehr gross ist. In der That ist ja das Herausrücken des Bildes aus der hinteren Brennebene bei der gedachten Bewegung des Objektes anfangs sehr langsam, so dass die Kreise, in welchen die Retina die Strahlenkegel schneidet der Spitze noch sehr nahe liegen und folglich unmerklich kleine Durchmesser haben. Selbstverständlich hängt übrigens die Grösse der Zerstreuungskreise auf der Netzhaut ausser von der Entfernung ihrer Ebene von den Spitzen der Lichtkegel in der Bildebene noch ab von der Basis dieser Kegel, welche für alle durch die Pupille gebildet wird oder genauer gesprochen durch das von der Linse entworfene optische Bild der Pupille. Nachstehende Tabelle giebt unter Voraussetzung eines Pupillendurchmessers von 4 mm. eine Anzahl von zusammengehörigen Werthen der hier in Betracht kommenden Grössen. Die erste im Sinne der früheren Bezeichnungsweise mit $p-f$ überschriebene Spalte giebt an, wie weit das Objekt von der vorderen Brennebene absteht. Die zweite mit p^*-f^* überschriebene Spalte giebt

an wie weit das Bild hinter der hinteren Brennebene liegt und endlich liefert die dritte *d* überschriebene Spalte die Werthe für den Durchmesser der Zerstreuungskreise.

$p - f$	$p^* - f^*$	d
∞	0	0
10000 mm.	0,029 mm.	0,006 mm.
5000 „	0,059 „	0,013 „
2500 „	0,118 „	0,025 „
1250 „	0,236 „	0,050 „
625 „	0,472 „	0,099 „
312 „	0,946 „	0,193 „
156 „	1,893 „	0,369 „
78 „	3,786 „	0,675 „
39 „	7,571 „	1,000 „
19 „	15,541 „	1,819 „
0 „	∞ „	4,000 „

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass der Durchmesser des Zerstreuungskreises kleiner als $^1/_{100}$ mm. ist, sowie die Entfernung des Objektpunktes etwas über 5000 mm. beträgt. So kleine Zerstreuungskreise können aber der Deutlichkeit des Sehens um so weniger Eintrag thun, als eine absolute Schärfe der Bilder auch bei unendlicher Entfernung der Objektpunkte doch nicht stattfindet aus Gründen, die erst später zu erörtern sind. Man wird also folgern können, dass unser emmetropisches schematisches Auge alle Objekte, die mehr als 5 Meter von ihm abstehen mit gleicher Deutlichkeit sieht. Rücken aber die Objekte noch näher an das Auge, so wird Undeutlichkeit bemerkbar und zwar wächst dieselbe bei weiterer Annäherung mit beschleunigter Geschwindigkeit.

Zur Erklärung der Thatsache, dass vom emmetropischen Auge endlich entfernte Objekte, wenn ihre Entfernung nur eine gewisse Grösse übersteigt, mit unendlich fernen gleich deutlich gesehen werden, hat man auch den Umstand geltend gemacht, dass die Schicht der empfindenden Netzhautelemente eine gewisse Dicke besitzt und dass daher, wenn die Bilder unendlich ferner Objekte in die Vorderfläche dieser Schicht fallen die Bilder von Objekten, deren Entfernung zwar endlich aber über eine gewisse Grenze hinaus gross ist, noch in den Bereich jener Schicht fallen. Krüss [1] hat aus der bekannten Dicke der muthmasslich durch Licht reizbaren Netzhautschicht die Grenzdistanz für eine 3,3 mm. weite Pupille zu 13,5 m. berechnet. Hiergegen lässt sich indessen einwenden, dass wenn auch hinten nur ein reizbares Netzhautelement von einem leuchtenden Punkte Strahlen erhält, vorn doch schon mehrere benachbarte davon getroffen werden. Man wird daher doch immer wieder darauf zurückkommen, die gleiche Deutlichkeit des Sehens unendlich entfernter und

1 Ann. d. Physik CLVII. S. 476.

weit entfernter Objekte einfach zu erklären aus der Unwirksamkeit sehr kleiner Zerstreuungskreise.

III. Das myopische und das hypermetropische Auge.

Die oben gemachte Annahme, dass die Polarzone der Netzhaut mit der zweiten Brennebene zusammenfällt, war offenbar eine unter unzähligen möglichen, denn es ist an sich denkbar, dass die Netzhaut mehr oder weniger vor, sowie auch dass sie mehr oder weniger hinter der zweiten Brennebene liegt. Betrachten wir zunächst einen Fall der letzten Art. Die von unendlich entfernten Objektpunkten ausgegangenen Strahlenbündel kommen in Punkten der zweiten Brennebene zur Vereinigung und werden sich also bis sie die jetzt dahinter gedachte Netzhaut erreichen schon wieder ein wenig ausgebreitet haben, so dass sie auf der Netzhaut Zerstreuungskreise beleuchten und ein so beschaffenes Auge wird mithin unendlich entfernte Objekte nicht deutlich sehen. Dagegen wird es jetzt offenbar einen gewissen endlichen Abstand geben, in welchem ein System von Objektpunkten in einer zur Axe senkrechten Ebene liegen muss, wenn die entsprechenden Bildpunkte in die Polarzone der Netzhaut fallen sollen und das Auge wird in diesem endlichen Abstande gelegene Objekte deutlich sehen können. Nehmen wir beispielsweise an, der Netzhautpol läge nicht wie vorhin vorausgesetzt wurde 22,23 mm. sondern 22,56 mm. hinter dem Hornhautscheitel, dann ist der Abstand der Polarzone der Netzhaut von der zweiten Hauptebene = 20,2 mm. und wir können nun leicht eine Objektdistanz p von der ersten Hauptebene finden, zu welcher dieser Abstand als Bilddistanz p^* gehört, wir brauchen nur in die Grundformel 20,2 für p^* einzusetzen und p zu berechnen. Man hat so die Gleichung

$$\frac{14,86}{p} + \frac{19,87}{20,2} = 1,$$

woraus sich $p = 909$ in runder Zahl ergiebt. Das heisst mit andern Worten 909 mm. von der ersten Hauptebene abstehende Objektpunkte liefern Bildpunkte auf die Polarzone der Netzhaut des gedachten Auges oder dies Auge kann in etwa 909 mm. Abstand liegende Objekte deutlich sehen. Diese Entfernung nennt man die „Sehweite" des Auges. Liegen dagegen die Objektpunkte viel weiter als 909 mm., so werden sie undeutlich gesehen, weil ihre Bildpunkte vor der Netzhaut entstehen, und liegen die Objektpunkte viel näher als 909 mm., so kann sie das Auge nicht deutlich sehen, weil dann die Bildpunkte hinter der Netzhaut entstehen und wieder auf der Netzhaut Zerstreuungskreise beleuchtet werden.

Solche Augen, bei denen im ruhenden Zustande die Polarzone der Netzhaut hinter der zweiten Brennebene liegt und die daher nicht in unendliche Ferne, wohl aber in eine bestimmte endliche Entfernung deutlich sehen, giebt es nun wirklich und man nennt sie „myopische" Augen. Die Eigenschaft der „Myopie" ist eine mathematische Grösse, welche verschiedener Grade fähig ist, denn die Netzhaut kann verschieden weit hinter der zweiten Brennebene liegen. Gleiche Brennweiten vorausgesetzt wird offenbar die Sehweite um so kleiner sein, je weiter die Netzhaut hinter der hinteren Brennebene liegt. Die Entfernung dieser beiden Ebenen von einander eignet sich indessen nicht zum Maass der Myopie, da man sie im Leben nicht messen kann und noch dazu diese Entfernung allein ohne Kenntniss der Brennweiten noch keine vollständige Kenntniss vom Refraktionszustande des Auges geben würde. Gleichwohl ist es für die Augenheilkunde ein Bedürfniss, die Grade der Myopie lebender Augen numerisch darzustellen. Es kann keinen Augenblick zweifelhaft sein, dass man den numerischen Ausdruck für die Myopie eines Auges von seiner leicht bestimmbaren Sehweite abhängig machen muss, aber diese Grösse selbst kann offenbar den Maassstab nicht abgeben, da man umgekehrt ein Auge um so myopischer nennt, je kleiner seine Sehweite ist. Man muss also zum numerischen Ausdruck eine Grösse wählen, welche um so grösser ist je kleiner die Sehweite. In der That ist man auf DONDERS' Vorschlag übereingekommen den reciproken Werth der Sehweite P d. h. $\frac{1}{P}$ zum Maass der Myopie zu machen. Dadurch erscheint der als Emmetropie bezeichnete Refraktionszustand des Auges als ein bestimmter Werth von Myopie nämlich als der Werth

$$\frac{1}{\infty} = 0.$$

Es mag noch bemerkt werden, dass die Augenärzte bei Angabe der Myopiegrade nicht das Meter, sondern allgemein den pariser Zoll[1] als Längeneinheit annehmen. Da schwerlich Augen vorkommen, deren Sehweite kleiner ist als ein pariser Zoll, so erscheint der Werth der Myopie stets als ein positiver ächter Bruch dessen Zähler die Einheit und dessen Nenner die Anzahl von pariser Zollen ist, welche die Sehweite des Auges beträgt.

Aus einer Conkavlinse treten bekanntlich parallelstrahlig auffallende Bündel als divergente aus und zwar mit solcher Divergenz als

1 Auf dem ophthalmologischen Congress zu Heidelberg im Jahre 1875 ist übrigens von DONDERS der Vorschlag gemacht in Zukunft auch für die Messung der Refraktionszustände des Auges das Metermaass zu Grunde zu legen. Die Einheit wird als „Dioptrie" bezeichnet so dass z. B. einem Auge von 0,5 m. Sehweite der Werth von 2 Dioptrieen zukommt.

kämen sie von Punkten die in einem der (negativen) Brennweite der Linse gleichen Abstande vor derselben liegen. Man sieht daher leicht, dass auf der Retina eines myopischen Auges von unendlich fernen Objekten deutliche Bilder entstehen, wenn vor dasselbe noch eine Zerstreuungslinse gesetzt wird, deren negative Brennweite ihrem absoluten Werthe nach gleich ist der Sehweite des Auges vermindert um den Abstand der Linse vom Auge, oder wenn dieser gegen jene vernachlässigt werden darf einfach der Sehweite des Auges. Die optischen Werkstätten pflegen die Brennweiten ihrer Brillengläser in pariser Zollen anzugeben, gerade desswegen ist man auch für die Angabe der Myopiegrade beim pariser Zoll als Längeneinheit geblieben.

Stellen wir uns jetzt einen Fall der zweiten Art vor, wo die Netzhaut vor der hinteren Brennebene liegt. Dann werden unendlich entfernte Objekte ebenfalls nicht deutlich gesehen werden, weil die von ihren Punkten ausgegangenen Strahlenbündel erst hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Noch weniger können aber jetzt in irgend einem endlichen Abstande gelegene Punkte deutlich gesehen werden, da die von solchen ausgegangenen Strahlenbündel sogar erst hinter der zweiten Brennebene also noch viel mehr hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen. Augen von solcher Beschaffenheit giebt es ebenfalls wirklich und man nennt sie „hypermetropische“. Um zu sehen wie ein Objektpunkt liegen müsse, um von einem hypermetropischen Auge deutlich gesehen werden zu können wollen wir in unserem schematischen Auge den Netzhautpol beispielsweise nur 21,86 statt 22,23 mm. hinter dem Hornhautscheitel denken, dann ist sein Abstand von der zweiten Hauptebene 19,5 mm. und die Netzhaut liegt etwa 0,37 mm. vor der zweiten Brennebene. Fragen wir in welchem Abstand p von der ersten Hauptebene ein Objektpunkt liegen müsse, damit sein Bild in die Netzhaut falle, so haben wir nur wieder den Abstand der Netzhaut von der zweiten Hauptebene als Bildabstand p^* in die Grundgleichung einzuführen und den zugehörigen Werth von p zu suchen; aus

$$\frac{14,86}{p} + \frac{19,87}{19,5} = 1$$

ergiebt sich aber $p = -781$ mm. Das Minuszeichen vor dem Werthe von p deutet an, dass es nicht die Distanz eines vor dem Auge gelegenen reellen, sondern die eines hinter dem Auge gelegenen virtuellen Objektpunktes ist. Da für jedes hypermetropische Auge nach der Definition das einzusetzende p^* kleiner als f^* also

$$\frac{f^*}{p^*} > 1$$

ist, so wird sich für ein solches immer eine negative Sehweite p ergeben d. h. ein hypermetropisches Auge kann kein reelles Objekt deutlich sehen. Ein hypermetropisches Auge kann sich aber die für es deutlich sichtbaren virtuellen Objekte sehr leicht verschaffen, wenn es sich mit einer Sammellinse bewaffnet. In der That verwandelt ja eine solche parallelstrahlig auffallende Bündel in konvergente und zwar liegen die Konvergenzpunkte um ihre Brennweite von der Linse entfernt. Betrachtet also ein hypermetropisches Auge unendlich ferne Objekte durch eine Sammellinse deren positive Brennweite gleich ist dem absoluten Werthe der negativen Sehweite vermehrt um den Abstand zwischen Linse und erster Hauptebene, so wird es jene unendlich fernen Objekte deutlich sehen, da die von der Sammellinse entworfenen reellen Bilder in der richtigen negativen Sehweite des Auges zu Stande kommen würden.

Gemäss dem bei der Myopie schon angewandten Principe wird man zweckmässig als numerisches Maass der Hypermetropiegrade wieder die reciproken Werthe der Sehweiten verwenden, da aber diese negativ sind, so hat die Hypermetropie stets eine negative Zahl zum Maass. Dies ist auch insofern konsequent und gerechtfertigt, als offenbar die Myopie durch die Emmetropie ($= o$) in die Hypermetropie stetig übergeht.

Um nach dem aufgestellten Maassprincipe den Grad der Myopie oder Hypermetropie eines Auges wirklich durch eine Zahl darzustellen, muss man Methoden haben, nach denen sich die Sehweite eines Auges bestimmen lässt. Ist die Person der das Auge angehört geübt ihre sinnlichen Eindrücke genau zu beachten und die Thätigkeit des später zu beschreibenden Akkommodationsapparates auszuschliessen, so bedarf es weiter keines Apparates als einiger schwarzer Striche von verschiedner Breite auf weissem Papier und eines Maassstabes um die Entfernung des Papierblattes vom Auge zu messen. In der That wird eine solche Person, wenn man das Blatt mit den Strichen aus grosser Entfernung heranrückt, angeben können, wann zuerst die Striche scharf begrenzt erscheinen, welche in dieser Entfernung überhaupt gesehen werden können. Werden solche Proben mit Annäherung und Entfernung der Objekte wiederholt, so werden sich allerdings kleine Unterschiede in den gemessenen Abständen zeigen, auf die deutlich gesehen wird. Dies liegt daran, dass eben eine sehr kleine Undeutlichkeit nicht wahrgenommen werden kann, also jedes Auge von einer gewissen Entfernung an bis zu einer gewissen andern hin mit merklich gleicher Deutlichkeit sieht. Diese beiden Grenzen der Sehweite, wenn man so sagen darf, liegen um so

enger beisammen je kleiner sie in absolutem Werthe ist. Sind diese Grenzen für ein individuelles Auge bestimmt, so ist das arithmetische Mittel ihrer reciproken Werthe als numerisches Maass des Refraktionszustandes zu nehmen. Ist das zu prüfende Auge ein hypermetropisches, so muss es natürlich eine Sammellinse von bekannter Brennweite vor sich nehmen und die Objekte müssen ausserhalb der Brennweite vor der Linse verschoben werden. Die Lage des reellen Bildes, das hier als virtuelles Objekt dient, ergiebt sich dann leicht aus der Brennweite und dem Abstande des wirklichen Objektes von der Linse.

Da der praktische Augenarzt oft in der Lage ist die Sehweite bei Personen zu bestimmen, welche sich von ihren sinnlichen Wahrnehmungen nicht genau Rechenschaft zu geben gewöhnt sind, so hat man besondere Methoden ersonnen, um die Undeutlichkeit der Bilder solchen Personen auch dann zum Bewusstsein zu bringen, wenn sie zu klein ist um von selbst aufzufallen. Künstliche Vorrichtungen zu diesem Zwecke nennt man Optometer.

Eine der verbreitetsten optometrischen Vorrichtungen beruht auf dem sogenannten Scheiner'schen Versuch. Dieser besteht darin, dass man einen leuchtenden Punkt durch zwei feine Löchelchen in einem dicht vor dem Auge befindlichen Schirm betrachtet. Der Abstand der beiden Löchelchen von einander muss so klein sein, dass die beiden vom leuchtenden Punkte durch sie fallenden Strahlen durch die Pupille gehen. Befindet sich der leuchtende Punkt in der deutlichen Sehweite, so werden die beiden gedachten Strahlen denselben Punkt der Netzhaut treffen, da ja unter dieser Voraussetzung alle von jenem Punkte aus in die Pupille gelangenden Strahlen auf einen Punkt der Netzhaut vereinigt werden. Das Auge wird also einen leuchtenden Punkt zu sehen glauben. Befindet sich dagegen der leuchtende Punkt nicht in der deutlichen Sehweite, so werden die beiden Strahlen nicht denselben Punkt der Netzhaut treffen, da der Bildpunkt jetzt vor oder hinter der Netzhaut liegt. Das Auge glaubt jetzt natürlich zwei leuchtende Punkte vor sich zu sehen, da zwei gesonderte Elemente der Netzhaut erregt werden. Ist der Abstand des leuchtenden Punktes kleiner als die Sehweite, so liegt der Bildpunkt hinter der Netzhaut und die beiden Strahlen haben sich also noch nicht gekreuzt wenn sie die Netzhaut treffen, der Strahl, welcher durch das Löchelchen rechter Hand gegangen ist trifft also die Netzhaut rechts und der durch das Löchelchen linker Hand gegangene Strahl trifft sie links. Das Bewusstsein setzt aber die Ursache eines links gelegenen Punktes der Netzhaut nach rechts im Raume und umgekehrt, da wegen der Verkehrtheit der deutlichen Netzhautbilder

in der Regel links gelegene Netzhauttheile von rechts her, rechts gelegene von links her erregt zu werden pflegen. Von der Projektion der Ursachen von Lichtempfindungen überhaupt wird in einem späteren Abschnitte ausführlicher zu handeln sein. Die beiden scheinbaren leuchtenden Punkte entsprechen also jetzt übers Kreuz den beiden Löchelchen und wenn man das Löchelchen rechter Hand zudeckt wird der scheinbare Lichtpunkt links verschwinden und vice versa. Ist dagegen der leuchtende Punkt weiter entfernt als die Sehweite, so kreuzen sich die beiden Strahlen schon vor der Netzhaut und der durch das Löchelchen rechter Hand gegangene beleuchtet einen Punkt links auf der Netzhaut und umgekehrt. Aus dem vorhin angegebenen Grunde entsprechen daher jetzt die beiden scheinbaren Lichtpunkte den Löchelchen in ihrer Lage so, dass wenn man das Löchelchen rechter Hand verdeckt der scheinbar rechts gelegene Lichtpunkt verschwindet und vice versa. Sowie also Doppelbilder erscheinen, kann man wissen ob der leuchtende Punkt zu nah oder zu fern liegt, wenn man weiss ob dem Geprüften bei Verdeckung des Löchelchens rechter Hand das Scheinbild links oder rechts verschwindet. Fig. 15 wird ohne weitere Erklärung das Gesagte deutlich machen.

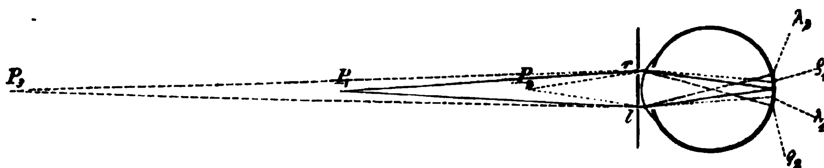


Fig. 15.

An die Stelle des leuchtenden Punktes kann man auch eine leuchtende Linie setzen, wenn ihre Richtung die Verbindungslinie der beiden Löchelchen senkreckt überkreuzt. Ferner kann man statt der Löchelchen auch zwei Spalten in dem Schirm verwenden, deren Richtung der leuchtenden Linie parallel ist. In dem auf dies Princip gegründeten Optometer dient als leuchtende Linie ein feiner Spalt in einem dunklen Schirm vor einem sehr ausgedehnten hellen Hintergrunde. Der Schirm bildet den Boden eines Rohres, welches in einem andern wie ein Fernrohrauszug verschoben werden kann, so dass der Schirm in jeden beliebigen Abstand von dem Ende des äusseren Rohres gebracht werden kann. An diesem Ende befindet sich nun das zu prüfende Auge dicht hinter einem die Oeffnung verschliessenden Schirm mit zwei zum erstgedachten parallelen Schlitzen. Verschiebt man jetzt das eine Rohr im andern, so wird das geprüfte Auge nur eine Lichtlinie zu sehen glauben, wenn der Spalt vom Auge

um die Sehweite absteht, dagegen zwei, wenn der Spalt zu weit oder zu nahe steht. Wenn es nun gilt auch grosse Sehweiten zu bestimmen, so müsste das Rohr eine unbequeme Länge haben, negative Sehweiten würde man gar nicht bestimmen können. Diese Uebelstände sind aber sehr leicht zu vermeiden, wenn man in das weitere Rohr dicht vor dem am Auge befindlichen Schirm mit Doppelspalt eine Sammellinse von etwa 6 Zoll Brennweite bringt, das Rohr braucht nicht viel länger als diese Brennweite zu sein, um alle positiven und negativen Sehweiten bestimmen zu können. In der That wird ja jetzt für das Auge nicht der Spalt selbst als Objekt zu betrachten sein, sondern dessen von der Linse entworfenes Bild. Dies kann man aber in jede beliebige positive und negative Entfernung vom Auge bringen. In unendlicher Entfernung insbesondere liegt es dann, wenn der Objektspalt von der Linse gerade um ihre Brennweite absteht. An das engere Rohr kann man gleich eine Scala eingraviren, welche für jede Stellung sogleich den Abstand des Linsenbildes vom Auge liefert.

Das Optometer v. Graefe's ist einfach ein galileisches Fernrohr (Operngucker), und es wird dem zu prüfenden Auge aufgegeben dasselbe so einzustellen, dass es ein sehr entferntes Objekt, etwa das Ziegeldach eines entfernten Hauses, deutlich sieht, so dass die Ziegel gezählt werden können. Es ist aus der Theorie des galileischen Fernrohres und aus der alltäglichen Erfahrung mit diesem in jedermanns Händen verbreiteten Instrumentes bekannt, dass die für unendliche Entfernung erforderliche Einstellung abhängt von der Sehweite des Auges, insbesondere weiss man, dass ein Auge mit kleiner Sehweite das Okular näher ans Objektiv bringen muss, um ein fernes Objekt deutlich zu sehen, als ein Auge mit grösserer Sehweite. Es ist mithin principiell klar, dass aus der Einstellung auf die Sehweite geschlossen werden kann. Wenn also an dem Auszugrohre eine geeignete Scala angebracht ist, so kann an dieser ohne Weiteres die Sehweite des Auges abgelesen werden. An den von den optischen Werkstätten gelieferten Graefe'schen Optometern kann man zwischen drei verschiedenen Zerstreuungslinsen als Okularen wechseln und dem entsprechend sind 3 verschiedene Skalen am Auszug angebracht; je nachdem das zu untersuchende Auge stark myopisch, schwach myopisch oder hypermetropisch ist. Wollte man nämlich für schwach myopische Augen dieselbe starke Zerstreuungslinse als Okular verwenden wie für stark myopische, so würden die Unterschiede der Einstellung für verschiedene Grade der schwachen Myopie zu gering ausfallen, um genau messbar zu sein.

Eine andere auf bloss objektive Beobachtung des Auges mit dem Augenspiegel gegründete Methode der Sehweitebestimmung kann erst später erörtert werden.

Die mit der Prüfung der Sehschärfe Hand in Hand gehenden Methoden der Optometrie können hier nicht behandelt werden, vielmehr ist bezüglich derselben auf die Darstellungen der Augenheilkunde zu verweisen.

IV. Die Bilder seitlich gelegener Objekte.

Bisher haben wir bloss den Bildern solcher Objektpunkte, deren Richtungsstrahlen sehr kleine Winkel mit der Axe bilden, eingehendere Aufmerksamkeit geschenkt. Nur ganz vorübergehend wurde bemerkt, dass auch von weit seitwärts gelegenen Objekten jedesfalls ziemlich deutliche Bilder auf der Netzhaut entstehen. Einerseits nämlich hat man dies an ausgeschnittenen Thieraugen direkt beobachtet. Andererseits würde das Sehen solcher seitlich gelegenen Objekte — das sogenannte indirekte Sehen — auch nicht einmal mit der Schärfe stattfinden können, mit welcher es wirklich geschieht, wenn nicht das von je einem seitlich gelegenen Objektpunkte ins Auge gelangende Strahlenbündel wenigstens einigermaassen auf je einen Punkt der Netzhaut vereinigt würde. Es hat daher einiges Interesse, zu untersuchen, inwieweit eine solche Entstehung annähernd deutlicher Bilder von seitlich gelegenen Objekten aus den bis jetzt bekannten und in den vorstehenden Abschnitten beschriebenen Einrichtungen des Auges erklärt werden kann. Zur Beurtheilung des Ganges sehr schräg auffallender Strahlenbündel durch ein brechendes System können, wie mehrfach hervorgehoben wurde, die im ersten Abschnitte entwickelten Regeln nicht dienen. Man kann sich aber davon eine annähernde Vorstellung verschaffen, wenn man wenigstens die eine von den im ersten Abschnitte zu Grunde gelegten einschränkenden Bedingungen aufrecht erhält, dass nämlich das Strahlenbündel eine sehr kleine Basis auf den brechenden Flächen hat, welche Bedingung bei einigermaassen enger Pupille im Auge in der That erfüllt ist. Ein solches eng begrenztes Strahlenbündel wird durch Brechung an einer kugelförmigen Trennungsfläche sehr annäherungsweise verwandelt in ein Bündel eigenthümlicher Gestalt. Um sie bequem zu beschreiben, müssen wir einige Bezeichnungen einführen. Der mittelste Strahl des von einem Punkte P (Fig. 16) ausgegangenen Bündels heisse der Leitstrahl L. Durch ihn und den Mittelpunkt der Trennungsfläche c legen wir eine Ebene,

welche die Meridianebene des Bündels heissen mag und das in ihr liegende Büschel[1] soll das Meridianbüschel des Bündels heissen, ihm gehören die Strahlen s_1 und s_2 in der Figur an. Eine auf der Meridianebene senkrechte durch den Leitstrahl gelegte Ebene heisse

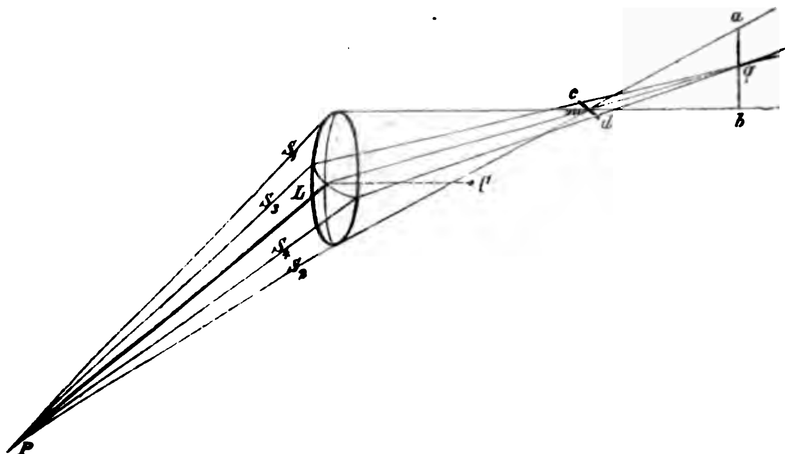


Fig. 16.

die Querebene und die darin enthaltenen Strahlen des Bündels bilden ein Büschel, das wir Querbüschel nennen wollen, dem in der Figur die Strahlen s_3 und s_4 angehören. Es vereinigen sich nun die Strahlen des Querbüschels in einem von der Trennungsfläche weiter entfernt gelegenen Punkte q des gebrochenen Leitstrahles, als die Strahlen des Meridianbüschels, welche übrigens sämmtlich auch nach der Brechung noch in der Meridianebene enthalten sind. Der Vereinigungspunkt der Strahlen des Meridianbüschels sei m. In der Entfernung, wo die Strahlen des Querbüschels zur Vereinigung kommen, gehen die sämmtlichen übrigen Strahlen des Bündels durch Punkte einer in der Meridianebene enthaltenen Strecke ab — der hinteren Brennlinie — welche durch die beiden äussersten Strahlen des hier schon wieder divergirenden Meridianbüschels begrenzt sind. Ebenso sind in der Entfernung, wo der Vereinigungspunkt des Meridianbüschels liegt, sämmtliche Strahlen vereinigt auf einer geradlinigen Strecke cd, deren Richtung senkrecht zur Meridianebene steht und die begrenzt ist durch die beiden äussersten Strahlen des Querbüschels, die hier noch nicht zur Vereinigung gekommen sind, sie

1 Ich bediene mich hier des Sprachgebrauches der synthetischen Geometrie, welche Strahlenbüschel ein System von Strahlen in der Ebene, Bündel ein solches im Raume nennt.

heisst die vordere Brennlinie. An diesen beiden Stellen findet also eine, wenn auch nicht punktuelle, so doch wenigstens auf einen unendlich schmalen Strich beschränkte Vereinigung sämmtlicher Strahlen des Bündels statt, die man auf einem Schirme objektiv zur Darstellung bringen kann. Die Entfernung mq zwischen diesen beiden Orten grösster Lichtkoncentration nennt man die Brennstrecke.

Wenn das Bündel durch einen Kreis an der Trennungsfläche begrenzt ist, so ist wegen des schrägen Einfalles offenbar das Meridianbüschel viel schmäler als das Querbüschel und die Anschauung zeigt ohne weiteres, dass dann die hintere Brennlinie im allgemeinen kürzer sein wird als die vordere, dass demnach die hintere mehr dem Begriffe eines optischen Bildes entsprechen wird als die vordere. In Fig. 16 erscheint zwar die hintere Brennlinie bedeutend länger als die vordere cd. Dies ist aber nur durch die Perspektive der Zeichnung bedingter Schein, der nicht vermieden werden konnte, ohne anderweite Undeutlichkeiten herbeizuführen. Der Oeffnungswinkel des Meridianbüschels am leuchtenden Punkte ist um so kleiner, je schräger das Bündel einfällt. Für Strahlenbündel, welche in das Auge schräg einfallen, trifft die vorstehende Bemerkung zu, insofern diese Bündel durch die mit der einen brechenden Fläche zusammenfallende kreisförmige Pupille begrenzt sind.

Bezeichnet man die Entfernung der ersten Brennlinie vom Einfallspunkt auf dem gebrochenen Leitstrahle gemessen durch f' und die der zweiten durch f'', so hat man [1]

$$f' = \frac{\frac{r}{n}(n^2 - \operatorname{Sin}^2 \varphi)}{\sqrt{n^2 - \operatorname{Sin}^2 \varphi} - \operatorname{Cos} \varphi - \frac{r}{e} \operatorname{Cos}^2 \varphi}$$

$$f'' = \frac{nr}{\sqrt{n^2 - \operatorname{Sin}^2 \varphi} - \operatorname{Cos} \varphi - \frac{r}{e}}$$

wo n den Brechungsindex, r den Radius der Trennungsfläche, e die Entfernung des Objektpunktes vom Einfallspunkt und φ den Einfallswinkel des Leitstrahles bedeutet.

Mit Hülfe dieser Formeln habe ich folgende Berechnungen ausgeführt. Zunächst wurde der Rechnung das reducirte schematische Auge zu Grunde gelegt, d. h. eine einzige trennende Kugelfläche angenommen in der S. 63 beschriebenen Weise. Dass diese einzige Kugelfläche bezüglich aller der Axe nahezu parallel einfallenden Strahlenbündel merklich dasselbe leistet, wie der wirkliche

1 Kummer, Borchardt's Journ. f. Mathem. LVII. S. 189; Hermann, Ueber schiefen Durchgang u. s. w. Gratulationsschrift an C. Ludwig. Zürich 1874.

brechende Apparat des Auges, ist weiter oben gezeigt worden. Es wurden nun 4 parallelstrahlige Bündel von kleinem Querschnitt angenommen, deren Leitstrahlen unter den Winkeln von 20°, 40°, 60°, 80° mit der Axe auf den Scheitel der Fläche fallen und für diese wurden die Lagen der gebrochenen Leitstrahlen und auf diesen die Orte der Brennlinien bestimmt.

Einer zweiten Rechnung wurde der brechende Apparat des schematischen Auges selbst zu Grunde gelegt. Es wurden wiederum 4 parallelstrahlige Bündel angenommen, deren Leitstrahlen ebenfalls nahezu Winkel von 20°, 40°, 60°, 80° mit der Axe bildeten und so auf die Hornhaut fallen, dass sie nach der Brechung an ihr durch den Scheitel der vorderen Linsenfläche oder den Mittelpunkt der Pupille gehen.

Die Resultate dieser beiden Rechnungen sind in Fig. 17 genau dargestellt. Die Abmessungen des schematischen Auges sind genau 5fach vergrössert. Die punktirte Linie *EE* deutet den Durchschnitt der idealen Kugelfläche an, auf welche der brechende Apparat bezüglich der sehr kleine Winkel mit der Axe bildenden Strahlenbündel reducirt werden kann. Die grosse ausgezogene Kurve folgt der vermuthlichen Netzhautkurve des schematischen Auges, das emmetropisch gedacht ist, daher der zweite Hauptbrennpunkt F^* in der Netzhaut liegt.

Man sieht nun leicht, dass bezüglich der seitlich einfallenden Strahlenbündel die Fläche *EE* nicht im Stande sein würde, den wirklichen brechenden Apparat zu ersetzen, denn selbst die hinteren Brennlinien der Strahlenbündel 1, 2, 3, 4 links unter der Axe, nämlich die Punkte φ_1'' φ_2'' φ_3'' φ_4'' in der Figur fallen soweit vor die Netzhaut, dass auf derselben bedeutende Zerstreuungsfiguren entstehen müssten, wenn nur eine Brechung stattfände.

Dahingegen sieht man, dass die hinteren Brennlinien der 4 Strahlenbündel bei Berücksichtigung der drei Brechungen an Hornhaut, vorderer und hinterer Linsenfläche mit einer überraschenden Genauigkeit in die Netzhaut fallen. Es sind nämlich f_1'' f_2'' f_3'' f_4'' jene 4 hinteren Brennlinien für die Bündel, deren Leitstrahlen durch die vier mit 1, 2, 3, 4 bezeichneten Linien links oberhalb der Axe dargestellt sind.

Es geht hieraus hervor, dass die Lage und Krümmung der Linse ganz ausserordentlich zweckmässig angeordnet ist, um das Auge, wie man es passend bezeichnen kann, „periskopisch" zu machen. In der That wird das emmetropisch gedachte schematische Auge schon ohne Berücksichtigung der Linsenschichtung auch von weit seitlich gelegenen sehr entfernten Objekten annähernd deutliche Bilder auf der

Netzhaut haben. Sofern die grösste Concentration der seitlich einfallenden Strahlenbündel in der hinteren Brennlinie ein wenig hinter die Netzhaut fällt, könnte man sagen, dass nach der ausgeführten Be-

Fig. 17.

rechnung die Seitentheile eines in der Axe emmetropischen Auges etwas hypermetropisch wären, womit die Beobachtungen von Stammeshaus [1] übereinstimmen.

1 Stammeshaus, Arch. f. Ophthalmologie XX. S. 147.

Die Schichtung der Linse macht diese Bilder der seitlich gelegenen Objekte jedesfalls noch bedeutend genauer. Es ist nämlich von L. HERMANN[1] allgemein nachgewiesen, dass bei einer geschichteten Linse von der Art wie die des menschlichen Auges die Brennstrecke für seitlich einfallende Bündel kürzer ist, als für eine homogene Linse von gleicher Hauptbrennweite. Die Rechnung von HERMANN, deren Einzelheiten als zu verwickelt hier nicht angeführt werden können — ist durchgeführt unter der Annahme, dass alle Strahlen des Bündels alle Schichten der Linse durchsetzen. Noch günstiger würde sich wahrscheinlich dies Resultat stellen, wenn man dem Umstande Rechnung tragen könnte, dass nicht alle Strahlen des Meridianbüschels die sämmtlichen Schichten wirklich durchsetzen, welche von den Strahlen des Querbüschels durchsetzt werden. Betrachten wir nämlich z. B. das schräg von oben einfallende Bündel No. 3 in Fig. 17, so ist wohl anzunehmen, dass die untersten Strahlen in seinem Meridianbüschel an einigen inneren Schichten der Linse ganz vorübergehen, durch welche seine oberen Strahlen noch passiren müssen, dass also jene untersten Strahlen schliesslich weniger abgelenkt aus der Linse hervorgehen und so der Vereinigungspunkt des Meridianbüschels noch weiter hinausgerückt, d. h. dem Vereinigungspunkte des Querbüschels mehr genähert wird, und dieser also noch mehr einem genauen punktuellen Bilde ähnlich wird.

Was hier zunächst vom emmetropischen Auge gezeigt wurde, wird wohl vom myopischen auch annähernd gelten, so dass man auch bei ihm voraussetzen darf, dass von seitlich gelegenen Objekten, die um seine direkte Sehweite von ihm abstehen, sehr annähernd deutliche Bilder auf der Netzhaut entworfen werden.

Man kann jetzt noch die Frage aufwerfen, ob die Verbindungslinien der seitlich gelegenen Objektpunkte mit ihren beziehlichen Bildpunkten auf der Netzhaut einander selbst und die Axe in demselben „Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen“ schneiden, wo die entsprechenden Verbindungslinien der der Axe benachbarten Objektpunkte und ihrer Bildpunkte einander nahezu schneiden. Es sind über diese Frage am ausgeschnittenen Kaninchenauge von LANDOLT und NUEL[2] Versuche angestellt, welche die von Lichtflammen entworfenen Bilder auf der Sclera direkt beobachteten. Sie fanden, dass die Verbindungslinien zwischen Objektpunkt und Bildpunkt bei

1 HERMANN, Ueber schiefen Durchgang von Strahlenbündeln durch Linsen und über eine darauf bezügliche Eigenschaft der Krystalllinse. Gratulationsschrift der Züricher med. Fak. für C. LUDWIG. 1874.

2 Arch. f. Ophthalmologie XIX. Heft 3.

seitlich gelegenen Objektpunkten die Axe vor dem „Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen“ schneiden.

Wenn man in unserer Fig. 17 durch die Punkte $f_1'' f_2'' f_3'' f_4''$ Parallelen mit den einfallenden Leitstrahlen 1, 2, 3, 4 zieht, welche die Verbindungslinien zwischen Objektpunkt und Bildpunkt darstellen würden, so sieht man, dass dieselben die Axe sehr entschieden hinter dem „Kreuzungspunkte der Richtungsstrahlen“ schneiden. Doch ist offenbar die sehr verwickelte Construktion unserer Figur nicht hinlänglich genau, um diese Verhältnisse getreu wiederzugeben. Es findet sich nämlich kein ganz stetiges Weiterrücken des Schnittpunktes mit wachsendem Einfallswinkel, was doch ohne Zweifel zu erwarten wäre. Immerhin ist der Widerspruch zwischen dem Ergebniss der Construktion für das schematische Menschenauge und der experimentellen Bestimmung am Kaninchenauge beachtenswerth und kann zu Wiederholung der Bestimmungen auf beide Arten auffordern.

FÜNFTES CAPITEL.

Die Akkommodation des Auges.

I. Verschiedene Refraktionszustände desselben Auges.

Der im vorigen Abschnitte charakterisirte Refraktionszustand ist für ein und dasselbe Auge keineswegs eine zu allen Zeiten konstante Grösse. Das normale Auge kann vielmehr zu verschiedenen Zeiten sehr verschiedene Refraktionszustände willkürlich annehmen. Man überzeugt sich am leichtesten hiervon am eigenen Auge. Man halte z. B. in einiger Entfernung soweit man noch eben bequem kleine Druckschrift lesen kann ein bedrucktes Blatt und in die Hälfte der Entfernung zwischen dies und das Auge ein Stück von einem weitmaschigen Gewebe z. B. Gaze oder Tüll. Man wird bemerken dass man willkürlich bald die Buchstaben deutlich sehen kann, bald die Fäden des Gewebes. Im ersten Falle verschwimmen diese in Zerstreuungsbildern, im letzteren Falle sieht man die gedruckten Buchstaben undeutlich. Es hängt also von der Willkür ab, den Grad der Myopie zu verändern innerhalb gewisser Grenzen, in denen natürlich auch der Werth 0 und negative Werthe d. h. Emmetropie und gewisse Grade der Hypermetropie eingeschlossen sein können.

Der Versuch lässt sich auf die mannigfachste Weise variiren und man kann dabei auch die Grenzen bestimmen, innerhalb deren es eben möglich ist, den Refraktionszustand zu verändern. Diese Fähigkeit des Auges nennt man das „Anpassungsvermögen“ oder „Akkommodationsvermögen“ für verschiedene Entfernungen. Die grösste Entfernung, für welche ein gegebenes Auge einstellbar ist, nennt man seinen Fernpunktsabstand, und die kleinste Entfernung, für welche es eingerichtet werden kann, den Nahepunktsabstand. Als Fernpunkt und Nahepunkt kann man etwa zwei Punkte der nach aussen verlängerten Augenaxe definiren und zwar wäre der Fernpunkt derjenige, dessen deutliches Bild auf den Pol der Retina fällt zu der Zeit, wo das Auge seinen geringst möglichen Grad von Myopie hat und der Nahepunkt derjenige, dessen Bild ebendahin fällt, wenn der Myopiegrad des Auges auf seinen höchst möglichen Werth gesteigert ist. Selbstverständlich kann dem Fernpunktsabstand auch der Werth unendlich (Emmetropie) oder gar ein negativer Werth (Hypermetropie) zukommen. Die Differenz zwischen Fernpunktsabstand und Nahepunktsabstand oder die Strecke der Axe zwischen Fernpunkt und Nahepunkt, welche eine wesentlich positive Grösse ist, heisst das Akkommodationsspatium. Die so definirte Grösse kann unendlich sein. Wenn z. B. der Minimalwerth der Myopie des Auges = 0 (Emmetropie) ist, so reicht das Akkommodationsspatium von dem endlich gelegenen Nahepunkt bis in unendliche Ferne. Ist der Minimalwerth der Myopie gar negativ und der Maximalwerth positiv, so besteht das Akkommodationsspatium aus den beiden unendlichen Strecken der Axe von dem Nahepunkt bis in unendliche Ferne nach vorn und von dem hinter dem Auge endlich gelegenen Fernpunkt bis in unendliche Ferne nach hinten. Hier wäre also das Akkommodationsspatium die ganze unendliche Axe mit Anschluss der den Augenmittelpunkt enthaltenden endlichen Strecke vom Nahepunkt bis zum Fernpunkt.

Man bemerkt bei subjektiver Prüfung der Akkommodation des eigenen Auges ferner leicht, dass nur zum Uebergange von niederen zu höheren Graden der Myopie eine aktive Anstrengung von muskulösen resp. nervösen Apparaten erforderlich ist und dass der Nachlass dieser Anstrengung die Myopie vermindert. Hieraus folgt, dass das vollständig ruhende Auge auf seinen Fernpunkt eingestellt ist, oder so wenig myopisch ist, als es überhaupt zu sein vermag.

Die Fähigkeit, sich verschiedenen Entfernungen anzupassen, besitzen nicht alle Augen in gleichem Maasse. Von zwei im ruhenden Zustande emmetropischen Augen kann z. B. das eine im Stande sein,

bei grösster Anstrengung seiner akkommodirenden Kräfte noch in 5 Zoll Abstand deutlich zu sehen, während das andere es nur bis auf 7 Zoll Entfernung zu bringen vermag. Es ist daher vor allen Dingen wichtig, besonders für die Zwecke der praktischen Augenheilkunde ein Maassprincip zu besitzen, wonach man die Werthe des Akkommodationsvermögens verschiedener Augen vergleichen kann. Nachdem im vorigen Abschnitte bereits gelehrt wurde, die verschiedenen Refraktionszustände des Auges oder Grade der Myopie (resp. Hypermetropie) durch Zahlenwerthe auszudrücken, kann es nicht mehr zweifelhaft sein, welche Zahl als Maass eines bestimmten Akkommodationsvermögens zu dienen hat. Offenbar ist nämlich dies Maass die Differenz der beiden Zahlen, welche den Grad der Myopie bei grösster Anstrengung des Akkommodationsvermögens und bei vollständiger Ruhe desselben messen, mit anderen Worten die Differenz des reciproken Werthes des Nahepunkts- und des Fernpunktsabstandes. Nennen wir also den ersteren N, den letzteren F, so ist

$$\frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

das Maass des Akkommodationsvermögens. Ist der Fernpunkt unendlich weit oder das Auge in der Ruhe emmetropisch, so zieht sich diese Maasszahl auf $\frac{1}{N}$ zurück. Man entnimmt aus dieser Formel sogleich, dass ein im Ruhezustande schon sehr myopisches Auge nur ein ganz kleines Akkommodationsspatium zu beherrschen braucht, ohne dass man ihm darum ein abnorm kleines Akkommodationsspatium zuzuschreiben hätte. Nehmen wir z. B. an, dass ein im Ruhezustande emmetropisches und mit normalem Akkommodationsvermögen ausgerüstetes Auge sich durch möglichste Anstrengung desselben auf 5 par. Zoll Abstand einrichten könnte, so wäre das Maass dieses als normal angenommenen Akkommodationsvermögens

$$\frac{1}{5} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{5}.$$

Stellen wir uns nun ein im Ruhezustande schon myopisches Auge vor, dessen Fernpunktsabstand 7 Zoll beträgt, so würde sein Accommodationsvermögen als ein ganz normales gelten können, wenn es im Stande wäre, sich dadurch in ein Auge vom Myopiegrade $\frac{1}{2\frac{11}{12}}$ zu verwandeln, d. h. wenn sein Nahepunkt in 2″ 11‴ Abstand läge oder sein Akkommodationsspatium nicht mehr als $7 - 2\frac{11}{12}$ oder 4 Zoll 1 Linie betrüge, während das Akkommodationsspatium des im Ruhezustande emmetropischen Auges von gleichwerthigem Akkommoda-

tionsvermögen unendlich lang ist. So paradox dies auf den ersten Blick aussieht, so wird es doch sofort verständlich, wenn man bedenkt, dass unser myopisches Auge durch Vorsetzen eines Zerstreuungsglases von 7 Zoll negativer Brennweite in einen dioptrischen Apparat verwandelt wird, der das unendliche Akkommodationsspatium von ∞ bis 5 Zoll beherrscht. In der That fallen jetzt in dem aus Auge und Zerstreuungsglas zusammengesetzten Apparate beim Ruhezustande des Auges die Bilder unendlich ferner Gegenstände auf die Netzhaut denn von einem unendlich fernen Punkt erzeugt die Linse zunächst ein virtuelles Bild in 7 Zoll Abstand von sich selbst und das Bild dieses Bildes im Auge fällt unter den gemachten Voraussetzungen auf die Netzhaut, sofern wir von dem kleinen Abstande zwischen Linse und Auge absehen. Verwandelt sich nun aber das Auge in eines von der Myopie $\frac{1}{2\frac{11}{12}}$, so sieht es mit der Linse zusammen einen 5″ abstehenden Punkt deutlich, denn von diesem erzeugt die Linse

$$\left(\text{da } \frac{1}{5} + \frac{1}{-2\frac{11}{12}} = \frac{1}{-7} \text{ ist}\right)$$

ein Bild gerade im Abstande von $2\frac{11}{12}$ Zoll, wie es das veränderte Auge zum deutlichen Sehen braucht.

Das vorstehend entwickelte Maassprincip des Akkommodationsvermögens ist von Donders in die Ophthalmologie eingeführt. Jedoch habe ich selbst schon, ehe Donders die Refraktionszustände durch die reciproken Werthe der Sehweite zu messen vorschlug, die Werthe des Akkommodationsvermögens nach demselben Princip verglichen.[1]

II. Die Veränderungen des brechenden Systemes.

Es lassen sich von vornherein verschiedene Wege denken, auf welchen der Myopiegrad des Auges erhöht werden kann. Demgemäss sind auch in der Geschichte der Wissenschaft verschiedene Ansichten über das Wesen des Anpassungsvorganges aufgetaucht, die indessen gegenwärtig, wo man das Problem vollständig gelöst hat, nur noch ein historisches Interesse haben, und nur flüchtig zu berühren sind.

Am nächsten läge offenbar die Annahme, dass die Anpassung des Auges an verschiedene Entfernungen ähnlich bewerkstelligt würde wie die Anpassung der photographischen Camera obscura, nämlich ohne Veränderung des dioptrischen Apparates durch Verschiebung

1 Siehe Fick, Medicinische Physik. 1. Aufl. S. 306 f. Braunschweig 1856.

des bildauffangenden Schirmes. In der That würde das Auge mit der Polarzone seiner Netzhaut nähere Objekte als bisher deutlich sehen, wenn diese Zone weiter von der Hornhaut wegrückte, denn bei gleichbleibenden brechenden Flächen fallen ja die Bilder näherer Objekte weiter nach hinten als die entfernterer Gegenstände. Gegen diese Annahme, der es nicht an Vertheidigern gefehlt hat, lassen sich aber schon von vornherein schwer wiegende Bedenken geltend machen. Vor allem ist ersichtlich, dass die Polargegend der Netzhaut nur durch eine Gestaltveränderung des ganzen Augapfels zum Zurückweichen gebracht werden könnte. Dazu gehörten aber bei dem grossen intraokularen Drucke sehr bedeutende äussere Kräfte. Diese könnte man nur suchen in den äusseren Augenmuskeln, besonders wohl den beiden schiefen, welche den Bulbus gürtelartig umfassen und ihn wohl in der Aequatorialzone pressen könnten, so dass die Axe von Pol zu Pol verlängert würde. Da diese Muskeln aber ganz andere Aufgaben haben, zu denen eine ausserordentliche Feinheit der Abstufung ihrer Zusammenziehung erforderlich ist, so kann man nicht wohl daran denken, ihnen auch noch diese Last aufzubürden. Ein anderes Bedenken gegen die fragliche Annahme besteht darin, dass die mit dem Zurückweichen der Polarzone nothwendig verknüpfte Verengerung der Aequatorialzone für die seitlichen Objekte die Myopie schwächen würde, während sie für die der Axe benachbarten verstärkt wird. Wenn nun auch die seitlichen Bilder für den Sehakt weit weniger wichtig sind, so ist man doch nicht gewohnt in der organischen Welt selbst in untergeordneten Punkten grelle Widersprüche gegen die Zweckmässigkeit zu finden.

Wenn nun die Anpassung für die Nähe nicht durch Verschiebung des bildauffangenden Schirmes bewerkstelligt wird, so muss sie durch Verstärkung der Strahlenablenkung im brechenden Apparate selbst bewirkt werden, derart dass der Convergenzpunkt des von einem nahen Punkte ausgehenden Strahlenbündels, der anfangs hinter die Retina fiel, nunmehr schon in dieselbe fällt. Dies würde geschehen können, entweder wenn die Brechungsindices der Augenmedien grösser würden, oder wenn eine oder mehrere brechende Flächen sich stärker wölbten, d. h. der Krümmungshalbmesser derselben eine Verkleinerung erlitte. Was die erste dieser beiden Möglichkeiten betrifft, so ist sie ohne weiteres auszuschliessen, da wir uns gar keine Vorstellung machen können, wie durch Nerveneinfluss ganz plötzlich die chemische Natur der Augenmedien Veränderungen erleiden sollte, auch ist meines Wissens nie an eine Erklärung der Anpassung durch Aenderung der Brechungsindices gedacht. Es bleibt also nur die Möglichkeit übrig

anzunehmen, dass die Krümmung der brechenden Flächen verändert werde. In erster Linie hat man wohl die Hornhautkrümmung ins Auge gefasst. Eine Aenderung derselben könnte aber wie ein Zurückweichen der Polargegend der Netzhaut nur durch eine Gestaltveränderung des ganzen Bulbus bewirkt werden und ist eine solche aus den oben angeführten Gründen schon sehr unwahrscheinlich. Es ist auch schon vor vielen Jahren von Kohlrausch experimentell nachgewiesen, dass die Hornhautkrümmung bei der Anpassung für die Nähe keine Aenderung erleidet. Der Grund der vermehrten Myopie bei der Anpassung kann demnach schon von vornherein eigentlich nur in Veränderungen der Linse gesucht werden. Zur Aenderung ihrer Lage und Gestalt reichen auch schon geringe Kräfte aus, da der intraokulare Druck von allen Seiten auf dieselbe wirkt und mithin nicht als Gegenkraft in Betracht kommt. Aehnlich wie eine Verstärkung der Krümmung würde übrigens auch ein Vorschieben der ganzen Linse gegen die Hornhaut hin wirken, auch dadurch würde der Erfolg herbeigeführt werden, dass ein in der wässrigen Feuchtigkeit fortgepflanztes Strahlenbündel früher zur Vereinigung kommt. Die Annahme, dass die Anpassung für die Nähe auf dem Vorrücken der Linse beruhe, ist von Hueck sehr sorgfältig entwickelt und hat sich in der physiologischen Optik lange Zeit behauptet. Dies ist um so merkwürdiger als ihr nicht nur die Schwierigkeit einer mechanischen Erklärung des Vorrückens entgegensteht, sondern noch weit mehr der Umstand, dass die faktischen Leistungen des Accommodationsvermögens ein so weites Vorrücken fordern würden, dass es dem oberflächlichsten Blicke nicht entgehen könnte.

Obwohl nach diesen Erwägungen schon von vornherein die Anpassung des Auges für die Nähe kaum anders erklärt werden kann als durch verstärkte Krümmung der Linse, so ist doch diese Theorie in der Geschichte der Wissenschaft erst zuletzt aufgetreten. Nachdem zuerst M. Langenbeck beiläufig bemerkt hatte, dass die von den Linsenflächen gelieferten Reflexbilder bei der Anpassung für die Nähe Veränderungen erleiden, haben später Cramer in Holland und Helmholtz gleichzeitig und unabhängig von einander in exakter Weise durch Beobachtung dieser Veränderungen nachgewiesen, dass die Anpassung des Auges für die Nähe bewerkstelligt wird durch Zunahme der Krümmung beider Linsenflächen, so jedoch, dass vorzugsweise die vordere Linsenfläche stärker gewölbt wird und dass der hintere Linsenscheitel merklich an Ort und Stelle verbleibt.

Wir folgen bei der ausführlicheren Darstellung den Untersuchungen von Helmholtz, die an denselben Augen angestellt sind, an

welchen auch die in den bisherigen Abschnitten schon gebrauchten Messungen ausgeführt wurden.

Vor Allem ist eine schon ohne alle besonderen Hülfsmittel zu beobachtende Aenderung des Auges kurz zu erwähnen, welche daher auch schon seit langer Zeit bekannt ist. Sie besteht darin, dass sich beim Nahesehen die Pupille verengert. Man sieht dies sofort am eigenen Auge im Spiegel oder an einem fremden Auge, wenn man nur dafür sorgt, dass vor und während des Aktes der Anpassung für die Nähe das Auge nicht durch allzu helle Beleuchtung geblendet ist, so dass die Pupille beim Sehen in die Ferne einigermaassen weit ist.

Man kann ferner bemerken, dass der Pupillarrand nicht nur enger wird, sondern auch vorrückt. Zu diesem Ende beobachte man ein Auge von der Seite und sogar noch ein wenig von hinten, so dass es einen Anblick etwa wie Fig. 18 *a* darbietet. Man bemerkt darin, als schwarzen Streif neben dem Sklerarande das verzerrte Bild der Pupille und als schwarzen beiderseits spitz auslaufenden Streif c_1 c_2 dem Profil der Hornhaut entlang das verzerrte Bild der beschatteten Innenseite des über die Iris vortretenden Randes der Sklera in der abgewandten Hälfte des Auges.





Fig. 18.

Zwischen diesen beiden schwarzen Streifen zieht sich durch die Hornhaut gesehen ein hellerer farbiger Streif hin —' das verzerrte Bild der abgewandten Irishälfte. Dieser hellere Streif wird nun schmäler sowie sich das beobachtete Auge für die Nähe anpasst ohne seine Stellung zu verändern, was leicht zu erreichen ist, wenn man dem beobachteten Auge von vorn herein zwei in derselben Richtung gelegene Gesichtszeichen darbietet, eines fern und eines, am besten aus einer Nadelspitze bestehend, nahe, und nun dem Auge aufgiebt abwechselnd dem einen und dem andern die Aufmerksamkeit zuzuwenden. Das für die Nähe eingerichtete Auge bietet alsdann den Fig. 18 *b* dargestellten Anblick. Die Verschmälerung des hellen Zwischenraumes zwischen den erwähnten beiden schwarzen Streifen kann unmöglich durch die vorhin erwähnte Verengerung der Pupille bedingt sein, denn durch diese wird ja die Iris breiter und es müsste also auch ihr Bild sich verbreitern. Ebenso müsste eine etwaige Drehung des Auges nach der Seite des Beob-

achters den Streif breiter machen. Seine Verschmälerung kann nur durch das Vorrücken des Pupillarrandes gegen die Hornhaut bedingt sein. Bisweilen wird auch noch zwischen dem schwarzen Bilde der Pupille und dem Sklerarande ein wenig von der diesseitigen Hälfte der Iris beim Nahesehen sichtbar.

Man kann sogar den Betrag des Vorrückens der Pupillarebene wenigstens annähernd schätzen, wenn man bei dem Auge zuvor die Maasse der Hornhaut und die Lage der Pupillarebene beim Fernsehen bestimmt hat. Es sei Fig. 19 *a b* der Pupillendurchmesser beim Fernsehen und man beobachte das Auge aus einem solchen Standpunkte, dass die Pupille gerade eben ganz hinter dem Sklerarande bei *c* verschwindet, dann ist die Linie *c b* vollständig bekannt als die in das beobachtete Auge wie ein Strahl hineingebrochene Gesichtslinie des Beobachters. Bei Einrichtung des beobachteten Auges für die Nähe wird nun die etwas verengerte Pupille, deren Durchmesser $\alpha\beta$ bezeichnet ist, ganz oder zum Theil für den Beobachter sichtbar. In der Figur ist angenommen, dass sie eben gerade ganz sichtbar geworden ist, dann muss also der eine Endpunkt ihres Durchmessers in die Linie *cb* fallen und der Durchmesser ganz vor derselben liegen, und wenn man die Länge des Durchmessers kennt, kann man seine Lage construiren, mithin messen, um wie viel er nach vorn gerückt ist. Tritt nicht die ganze Pupille eben gerade sichtbar hervor, so muss man den sichtbar werdenden Theil abschätzen und auf diese Schätzung die Construction gründen. Auf diese Weise fand Helmholtz beim Auge *A* ein Vorrücken der Pupillarebene um 0,36 und beim Auge *B* ein Vorrücken um 0,44 mm.

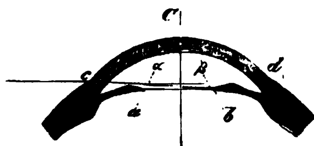


Fig. 19.

Hat man vor das zu beobachtende Auge in der S. 55 beschriebenen Anordnung Lichtflammen aufgestellt, so dass man deren Reflexbilder an der Hornhaut und den beiden Linsenflächen sieht, so bemerkt man an den beiden letzteren eine Verkleinerung, sowie sich das beobachtete Auge für die Nähe einrichtet, und zwar ist die Verkleinerung am Bildchen von der ersten Linsenfläche sehr bedeutend, dagegen am Bildchen von der hinteren Linsenfläche kaum wahrnehmbar. Das Hornhautbildchen bleibt vollkommen unverändert. Zur Veranschaulichung der Grösse dieser Veränderungen kann die Fig. 20 dienen. Die schwarzen Kreisflächen stellen die Pupille des Auges beim Fernsehen *A* und beim Nahesehen *B* dar mit den darin erscheinenden 3 Reflexbildchen. Als Objekt dienen zwei quadratische

Oeffnungen in einem Schirm, die durch dahinter stehende Flammen hell leuchtend gemacht sind. *a* ist in beiden Theilen der Hornhautreflex, *b* der Reflex von der vorderen, *c* der von der hinteren Linsenfläche. Man sieht wie das erste Linsenbild *b* beim Nahesehen fast um die Hälfte verkleinert wird. Es lässt sich zeigen, dass blosses Vorrücken der vorderen Linsenfläche eine Verkleinerung dieses Reflexes bedingen würde, doch könnte dieselbe ohne gleichzeitige Krümmungsänderung niemals den wirklich beobachteten Betrag erreichen.

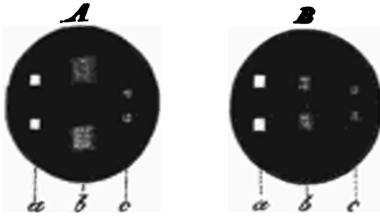


Fig. 20.

Nach den schon früher beschriebenen Methoden kann man mit Hülfe der Reflexbilder für das nahe sehende Auge die Krümmungshalbmesser der Linsenflächen und die Lage ihrer Scheitel ebenso bestimmen, wie dies für das ruhende oder fernsehende Auge schon geschehen ist. Auf diese Weise fand Helmholtz den Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche in dem oben S. 56 mit *A* bezeichneten Auge beim Nahesehen = 8,6 mm., und in dem mit *B* bezeichneten Auge beim Nahesehen = 5,9 mm. Beim Fernsehen war in denselben Augen der Halbmesser der vorderen Linsenfläche = 11,9 und = 8,8 gefunden. Die Abnahme des Halbmessers der hinteren Linsenfläche ist von Helmholtz nicht quantitativ bestimmt worden, weil zu viele hypothetische Faktoren in die Rechnung eingehen würden. Er begnügte sich mit dem Nachweis, dass eine Verkleinerung dieses Halbmessers von sehr geringem Betrage stattfinde.

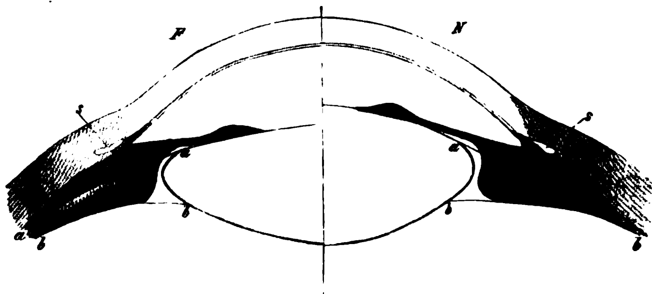


Fig. 21.

Da nun, wie schon ausgeführt, der hintere Linsenscheitel an Ort und Stelle verbleibt, der vordere aber ein wenig vorrückt (beim

Auge A um etwa 0,36, beim Auge B um etwa 0,44 mm.), so kann man sich von der grössten Veränderung, welche ein normales Auge durch volles Aufgebot der Akkommodationsfähigkeit erleidet, eine deutliche Vorstellung machen. Eine Anschauung davon gibt Fig. 21, wo die vorderen Theile des Auges den gefundenen Messungen entsprechend, in 5facher Vergrösserung dargestellt sind und zwar links unter F so wie sie beim Fernsehen, rechts unter N so wie sie beim Nahesehen beschaffen sind.

Durch ähnliche Abrundung der aus den Messungen am nahesehenden Auge hervorgegangenen Zahlen wie sie S. 61 an den für das fernsehende Auge gefundenen angebracht wurde, kann man ein akkommodirtes schematisches Auge bilden und seine Cardinalpunkte berechnen. Die so von HELMHOLTZ gewählten Werthe sind mit den S. 61 u. 62 gegebenen Werthen für das fernstehende schematische in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

	Akkommodation für	
	die Ferne	die Nähe
Angenommen:		
Brechungsindex der wässrigen Feuchtigkeit	$^{103}/_{77}$	$^{103}/_{77}$
Brechungsindex der Linsensubstanz	$^{16}/_{11}$	$^{16}/_{11}$
Brechungsindex des Glaskörpers	$^{103}/_{77}$	$^{103}/_{77}$
Krümmungshalbmesser der Hornhaut	8,0	8,0
Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche	10,0	6,0
Krümmungshalbmesser der hinteren Linsenfläche	6,0	5,5
Ort des vorderen Linsenscheitels	3,6	3,2
Ort des hinteren Linsenscheitels	7,2	7,2
Berechnet:		
Ort des vorderen Brennpunktes	— 12,107	— 11,241
Ort des ersten Hauptpunktes	1,940	2,033
Ort des zweiten Hauptpunktes	2,356	2,492
Ort des ersten Knotenpunktes	6,957	6,515
Ort des zweiten Knotenpunktes	7,373	6,974
Ort des hinteren Brennpunktes	22,231	20,248

Wenn man jetzt annimmt, dass das schematische Auge im ruhenden d. h. fernsehenden Zustande emmetropisch ist, so kann man leicht berechnen, für welchen Abstand es eingestellt ist, wenn es die Veränderungen erlitten hat, welche durch die Zahlen der zweiten Spalte unserer Tabelle dargestellt sind. In der That annehmen, das fernsehende Auge sei emmetropisch, heisst annehmen, dass der Pol seiner Netzhaut mit dem zweiten Brennpunkte zusammenfällt, d. h. 22,231 mm. hinter dem Hornhautscheitel liegt. Hier muss er dann aber auch nach den Veränderungen bleiben und man kann sich fragen in wel-

cher Entfernung p muss ein leuchtend gedachter Punkt der Axe vom ersten Hauptpunkt liegen, damit sein Bild, 22,231 mm. hinter die Hornhaut fällt, wenn die in der zweiten Spalte der Tabelle aufgeführten Data gelten. Um die gesuchte Grösse p zu berechnen, bedenken wir erstens, dass der Abstand des Netzhautpoles vom zweiten Hauptpunkte des für die Nähe eingerichteten Auges 22,231—2,492 also 19,739 mm. beträgt. Dieser Abstand muss aber als Bildabstand dem gesuchten Objektabstand p entsprechen, d. h. mit ihm und den Brennweiten des nahesehenden Auges in der bekannten Beziehung stehen, die durch die Gleichung

$$\frac{f}{p} + \frac{f^*}{p^*} = 1$$

(s. S. 19) gegeben ist. Nun ist aber für das nahesehende schematische Auge $f = 11,241 + 2,033 = 13,274$ mm. und $f^* = 20,248 - 2,492 = 17,756$ mm. Man hat also p zu berechnen aus der Gleichung

$$\frac{13,274}{p} + \frac{17,756}{19,739} = 1$$

und es ergiebt sich = 132,08 mm. Das heisst also mit andern Worten, wenn das schematische Auge im fernsehenden Zustande emmetropisch ist, so ist es bei Aufgebot seiner ganzen Akkommodationskräfte für etwa 132 mm. oder für ungefähr 5 pariser Zoll Entfernung eingestellt, und das Maass des Akkommodationsvermögens würde unter Annahme der in obiger Tabelle verzeichneten Veränderungen ungefähr $\frac{1}{5} - \frac{1}{\infty}$ oder ungefähr $\frac{1}{5}$ sein. Da nun dieser Zahlwerth in der That den beobachteten Leistungen eines normalen Akkommodationsvermögens etwa entspricht, so genügen die vorstehend gemachten Annahmen vollkommen, um es zu erklären, und es zeigt sich kein Bedürfniss noch nach anderen Veränderungen im Auge zu suchen.

III. Mechanismus der Akkommodation.

Nachdem die Veränderungen des dioptrischen Apparates, welche das Auge myopischer machen, erkannt sind, entsteht die Frage, durch welche Kräfte sie bewirkt werden. Da die Veränderung willkürlich ist, also unter dem Einflusse des Gehirns geschieht, so ist von vornherein kaum zweifelhaft, dass sie durch die Kräfte von Muskeln bewirkt werde, welche ihre motorischen Nerven aus dem Hirn erhalten. Die wirksamen Muskelfasern müssen offenbar im Inneren des Augapfels liegen, da die äusseren Augenmuskeln nicht eine Gestaltveränderung der Linse bewirken könnten, ohne die Gestalt des ganzen

Bulbus zu ändern, welche, wie wir gesehen haben, ganz unverändert bleibt. Nun haben wir zwar im Inneren des Augapfels glatte Muskelfasern kennen gelernt, nämlich in der Iris den Kreismuskel und den Dilatator, sowie im vorderen Abschnitte der Chorioidea den musculus ciliaris; es ist aber keineswegs auf den ersten Blick ersichtlich, in welcher Weise eine Zusammenziehung eines dieser Muskeln die beschriebenen Veränderungen der Linse hervorbringt.

Von den beiden Forschern, welche unabhängig von einander die Vorwölbung der vorderen Linsenfläche als Ursache der Anpassung für die Nähe bewiesen haben, sind zwei verschiedene Hypothesen zur Erklärung des Mechanismus aufgestellt. CRAMER schreibt den Muskelfasern der Iris die Hauptrolle dabei zu, indem er annimmt, dass diese Membran nicht nur mit ihrem Pupillarrande, sondern in grösserer Breite der vorderen Linsenwölbung aufliegt. Wenn sich nun die radialen und Kreisfasern der Iris gleichzeitig zusammenziehen, so soll durch das Streben der vorgewölbten Iris sich bei wachsender Spannung abzuflachen, ein Druck auf den Rand der Linse ausgeübt werden, welcher die Mitte derselben in die Pupille vorzuquellen zwänge. Hiernach würde sich das ruhende und das akkommodirte Auge in übertriebener schematischer Darstellung so ausnehmen, wie *R* und *A* Fig. 22. CRAMER hat zwar diese Hypothese durch Versuche an Seehundsaugen zu stützen gesucht, deren vordere Theile er vor und nach Zerschneidung der Iris elektrisch reizte, doch dürften dieselben kaum beweisend sein, da die Augen zu sehr verstümmelt zur Beobachtung kamen. Für das Auge des Menschen und der meisten Säugethiere kann auch schon auf Grund der anatomischen Verhältnisse kaum an einen solchen Anpassungsmechanismus gedacht werden. Immerhin könnte es sein, dass bei dem zum abwechselnden Sehen in Luft und Wasser einer kolossalen Anpassungsfähigkeit bedürftigen Seehundsauge der von CRAMER beschriebene Vorgang wirklich vorkäme.

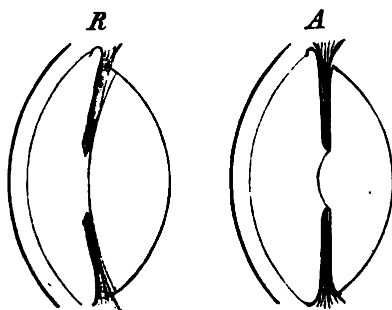


Fig. 22.

Ganz anders erklärt HELMHOLTZ die Vorwölbung der Linse durch Muskelwirkung. Er legt die Annahme zu Grunde, dass die Linse im ruhenden Auge nicht diejenige Gestalt besitzt, welche dem Gleichgewicht ihrer eigenen elastischen Kräfte entspricht. Vielmehr würde

die Linse, wenn man sie aus ihrer Umgebung befreite, sich selbst überlassen dicker auf beiden Seiten stärker gewölbt sein und mithin, da das Volum konstant sein muss, einen entsprechend kleineren Randumfang haben. Im lebenden ruhenden Auge sei die Linse durch eine in der zonula Zinnii vorhandene radiale Spannung in der Richtung ihrer Randdurchmesser gedehnt und von vorn nach hinten entsprechend abgeplattet. Die Annahme einer fortdauernden elastischen Spannung in einem Organe, die durch die Ernährungsbedingungen unverändert aufrecht erhalten wird, hat an sich durchaus nichts paradoxes; sehen wir doch derartige Spannungen in fast allen lebenden Geweben. Zur Stütze seiner Annahme über die Gleichgewichtsfigur der Linse macht Helmholtz noch besonders darauf aufmerksam, dass alle frühere Messungen an Leichenlinsen eine grössere Dicke ergeben haben als seine und Anderer Messungen an Lebenden. Da man nun kaum annehmen kann, dass die früheren Forscher zufällig sehr dicke die späteren an lebenden untersuchenden Forscher zufällig sehr dünne Linsen zu Gesicht bekamen, so liegt die Annahme nahe, dass die Linse aus dem Zwange ihrer Umgebungen befreit dicker wird.

Wenn wir diese Voraussetzung zugeben, so ist klar, dass auch im lebenden Auge die Linse sich stärker wölbt, sowie der abflachende Zug der zonula Zinni abnimmt. Eine solche Abnahme dieser Spannung kann aber, wie Helmholtz behauptet, hervorgebracht werden durch Zusammenziehung des musculus ciliaris. In der That haben die Fasern dieses Muskels ihre festen Punkte am Rande der Cornea und laufen von hier in Meridianrichtungen gegen den Aequator des Auges, und verlieren sich ehe sie diesen erreichen im Gewebe der Chorioidea. Gerade in dieser Gegend aber, wo die sogenannte ora serrata retinae dem Aequator parallel verläuft, ist die bloss noch bindegewebige Netzhaut mit der Chorioidea fester verklebt. Wenn also die freien Enden der Fasern des musculus ciliaris gegen ihre festen Enden am Hornhautrande hingezogen werden, so wird sich auch die ora serrata etwas dem Hornhautrande nähern und damit wird die radiale Spannung der zonula Zinnii, wofern eine solche vorhanden war, nachlassen und der Linse Freiheit geben, sich ihrer natürlichen Gleichgewichtsfigur zu nähern. Die Ciliarfortsätze sollen dabei nach einigen Autoren vor- nach anderen zurücktreten.

Dieser von Helmholtz nur vermuthungsweise ausgesprochene Vorgang ist von Hensen und Völkers[1] am Hundsauge, sowie später auch am Auge der Katze, des Affen und an einem ausge-

1 Hensen und Völkers, Experimentaluntersuchung über den Mechanismus der Akkommodation. Kiel 1868 und Arch. f. Ophthalmologie XIX. 1. Abth.

schnittenen menschlichen Auge experimentell beobachtet worden. Der beweisendste Versuch dieser Forscher bestand darin, dass sie eine feine Nadel durch die Sklera in die Chorioidea einstiessen, da wo der Ciliarmuskel schon sein Ende erreicht hat. Wenn sie nun die Ciliarnerven oder das Ganglion ciliare elektrisch reizten, so bewegte sich das frei herausstehende Ende der Nadel merklich nach hinten, wodurch eine Verschiebung der chorioidea unter der Sklera nach vorn erwiesen ist, indem die Nadel in der Sklera ihren festen Drehpunkt hat. Auch konnten sie durch ein in die Sklera vorn eingeschnittenes Fensterchen nach Abtragung der betreffenden Theile des Ciliarkörpers durch ein an den Wundrand der Sklera angelehntes Glasfädchen dessen Spitze sich auf die freigelegte Zonula stützte das Verrücken derselben bei Reizung der Ciliarnerven beobachten. Das positive Ausfallen dieses Versuches ist um so beweisender, als der freigelegte Streif der Zonula nur noch durch die zu beiden Seiten unter den unverletzten Scleratheilen liegenden Fasern des Ciliarmuskels mitgenommen werden konnte.

Die Versuche von HENSEN und VÖLKERS ergeben ausser der Bestätigung der HELMHOLTZ'schen Theorie vom Mechanismus der Anpassung noch den Beweis dafür, dass der Ciliarmuskel vom ganglion ciliare aus innervirt wird, und zwar offenbar von Fasern, welche diesem ganglion durch seine motorische Wurzel, also aus dem nervus oculomotorius zugeführt werden. Dieser Satz wird übrigens durch zahlreiche pathologische Erfahrungen bestätigt, nach denen Lähmung des n. oculomotorius regelmässig mit Verlust des Akkommodationsvermögens verknüpft ist.

HENSEN und VÖLKERS bemerkten ferner bei ihren Versuchen, dass die Rückkehr des Akkommodationsapparates in seinen Ruhezustand beim Aufhören der Reizung stets merklich rascher geschah als der Uebergang in den möglichst angestrengten bei Beginn der Reizung. Hierüber sind auch beim Menschen Versuche durch Selbstbeobachtung angestellt, welche ein ähnliches Resultat ergeben haben. So fand VIERORDT[1] dass der Uebergang aus der Anpassung für 18 m. auf die für 0,1 m. die Zeit von 1,18″ in Anspruch nahm der umgekehrte Uebergang aber nur 0,87″ erforderte. AEBY[2] fand zum Uebergang aus dem Anpassungszustand für 0,43 m in den für 0,115 m nahezu 2″ erforderlich zum Uebergang in umgekehrtem Sinne dagegen nur 1,2″.

Diese Plötzlichkeit des Zurückspringens der bei der Anpassung für die Nähe veränderten Theile des Auges in ihre alte Lage und

1 VIERORD, Arch. f. physiol. Heilk. N. F. I. S. 17. 1857.
2 AEBY, Ztschr. f. rat. Med. 1861. N. F. XI. S. 300.

die damit sehr plötzlich zurückkehrende alte Spannung der Zonula Zinnii scheint die Ursache einer sehr merkwürdigen zuerst von Purkinje[1] beobachteten subjektiven Lichterscheinung zu sein, welche Czermak[2] das „Akkommodationsphosphen" genannt hat. Sie besteht darin, dass manche Individuen beim plötzlichen Nachlassen der Anpassung für kleinsten Abstand im Dunklen einen hellen Ring aufblitzen sehen der ungefähr die in sich zurücklaufende Grenze des einäugigen Gesichtsfeldes bildet. Es muss also dieser Erscheinung eine Reizung der etwa an der ora serrata gelegenen Netzhautelemente entsprechen. Eine solche Reizung kann aber in der That bei der plötzlichen Wiederanspannung der Zonula wohl eintreten, da die im Bereich der ora serrata mit der Zonula eng verklebte Netzhaut hier in diesem Augenblicke eine Zerrung erleiden muss.

In der Regel ist die Innervation des Akkommodationsapparates verknüpft mit der der musculi recti interni, so dass Convergenz der beiden Gesichtslinien des rechten und linken Auges und Myópiegrad gleichen Schritt halten. Es sind jederzeit so genau als möglich eben die beiden Augen eingestellt für den „fixirten Punkt", welcher den Durchschnittspunkt ihrer beiden Gesichtslinien bildet. Die Verknüpfung der beiden Innervationsströme, die beide im Bereiche des n. oculomotorius fliessen, ist jedoch nicht unauflöslich. Vielmehr ist es möglich durch Uebung die Anspannung des Akkommodationsapparates von der Zusammenziehung der mm. recti interni unabhängig zu machen.

Die oben erwähnte Verengerung der Pupille[3] soll nach Weber nur dann mit der Anpassung für die Nähe einhergehen, wenn dieselbe mit einer Vermehrung der Convergenz der Gesichtslinien verknüpft ist. Ferner ist von Donders[4] beobachtet, dass die Verengerung der Pupille mit der Akkommodation für die Nähe nicht ganz gleichzeitig eintritt, sondern ihr erst nachfolgt.

Immerhin ist die Pupillenverengerung im Allgemeinen eine die Anpassung für die Nähe regelmässig begleitende Erscheinung und man kann daher füglich die Frage aufwerfen ob die Verengerung der Pupille dabei für den Sehakt irgend welchen Vortheil hat, sind wir doch gewohnt, alle typischen Einrichtungen der organischen Natur „zweckmässig" zu finden. Man könnte die teleologische Bedeu-

---

1 Purkinje, Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne. II. S. 125. Berlin 1825.

2 Czermak, Ueber das Akkommodationsphosphen. Sitzgsber. d. Wiener Acad. XXVII. S. 78. 1857.

3 Siehe Seite 88.

4 Donders, Pupilbeweging bij Accommodatio. Nederl. Arch. v. Genees- en Naturk. II.

tung der Pupillenverengerung etwa in folgender Betrachtung suchen. Die Grösse des Netzhautbildes hängt ab von der Entfernung des Objektes vom Knotenpunkte die Oeffnung des von einem Punkte des Objektes ausgehenden Strahlenkegels dagegen vom Abstande des Objektes von der scheinbaren Pupille. Man denke sich nun eine gleichmässig leuchtende Fläche aus der Ferne an das Auge herangerückt und dieses folge mit seiner Anpassung, so dass immer ein deutliches Netzhautbild entsteht. Offenbar würde hier die Oeffnung der von den einzelnen Punkten ausgehenden Strahlenbündel rascher zunehmen als die Grösse des Netzhautbildes und somit würde das Netzhautbild heller werden. Man könnte nun vermuthen, dies werde kompensirt durch die bei der Annäherung des Objektes stattfindende Verengerung der Pupille. Es ist aber in Wirklichkeit dieselbe bedeutend grösser als es jene Compensation erfordert. Wir besitzen nämlich von der Pupillenverengerung beim Nahesehen sehr genaue Messungen von Olbers[1]. Er fand die in nachstehender Tabelle verzeichneten Zahlen

Entfernung des Objektes in mm.	Durchmesser der Pupille in mm.
108	4,04
216	4,93
324	5,31
432	5,62
540	5,89
648	6,07
756	6,16

Nimmt man nun die Entfernung der scheinbaren Pupille von der Hornhaut zu drei und die Entfernung des Knotenpunktes zu 7 mm. an, so ergiebt sich, dass die Helligkeit des Netzhautbildes bei Annäherung des Objektes von 648 bis auf 108 mm. im Verhältnisse von 37,3 : 17,5 abnimmt während sie nur im Verhältnisse von 1,012 : 1,073 zunehmen würde wenn die Pupillenöffnung konstant bliebe.

Die Innervation der muskulösen Elemente der tunica uvea ist von verschiedenen Forschern zum Gegenstand besonderer Untersuchungen gemacht worden, und es ist ausser den schon gelegentlich ausgesprochenen Sätzen hierüber noch folgendes festgestellt. Der Oculomotorius führt die Nervenfasern für den der Accommodation dienenden musculus ciliaris, sowie für den sphincter pupillae und zwar verlaufen diese Fasern in den vordersten Strängen seiner Wurzeln. Ihre nächste centrale Ursprungsstelle scheinen nach Versuchen von Hensen und Völkers[2] diese Fasern im hinteren Theile des Bodens

---

1 Olbers, De mutationibus oculi internis. Diss. inaug. Göttingen 1780.
2 Hensen und Völkers, Arch. f. Ophthalmologie. XXIV. 1. Abth.

vom 3. Hirnventrikel zu haben. Reizt man nämlich den vorderen Abschnitt dieses Theils, so erfolgt Accommodation. Reizung etwas weiter hinten hat Verengerung der Pupille zur Folge. Geschieht die Reizung noch weiter hinten, wo der 3. Ventrikel in die Sylvische Wasserleitung übergeht, so zieht sich der rectus intenrus zusammen. Geht man mit dem Reize noch weiter nach hinten, so folgen der Reihe nach Contraktionen des rectus superior levator palpebrae, rectus inferior und endlich obliquus inferior. Dem sphincter pupillae sollen nach der Ansicht einiger Forscher[1] auch noch motorische Fasern in der Bahn des I. trigemini zugeführt werden.

Der dilatator pupillae erhält, wie schon seit langer Zeit bekannt ist, seine Innervation auf ganz anderen Bahnen nämlich durch Sympathicuszweige aus dem Halsmarke, welche sich den Aesten der Carotis anschliessen. Nach Hensen und Völkers sollen die pupillenerweiternden Fasern des Sympathicus nicht alle das ganglion ciliare durchsetzen, da nach Abtragung desselben Reizung des Sympathicus am Halse immer noch Erweiterung der Pupille hervorbringe.

Im Laufe des normalen Lebens wird, wie von Alters her bekannt, der Pupillenverengerer nicht bloss bei der Accommodation mit Convergenz der Augenaxen erregt, sondern auch reflektorisch durch jeden stärkeren Lichtreiz der die Netzhaut trifft. Die Zweckmässigkeit dieses Reflexmechanismus ist ersichtlich, denn es schützt sich auf diese Weise die Netzhaut so viel als möglich vor allzu starker Reizung, indem das Netzhautbild bei gleicher Helligkeit des Objektes um so dunkler ist je enger die Pupille. Die Pupillenverengerung ist um so bedeutender je grösser die gesammte ins Auge fallende Lichtmenge ist, wächst also sowohl mit der Helligkeit des Objektes als mit der Grösse seines Netzhautbildes. Ferner wirkt Licht, das die Polargegend der Netzhaut beleuchtet, stärker pupillenverengend als solches, das auf die Seitentheile fällt. Lichtreiz, der nur auf eine Netzhaut wirkt, bringt Pupillenverengerung in beiden Augen hervor und zwar in gleichem Maasse.

Wird der oculomotorius und der sympathicus gleichzeitig künstlich (elektrisch) gereizt, so überwiegt in der Iris die Wirkung des ersteren, indem Pupillenverengerung eintritt. Gegen natürliche reflektorische Reizung des Oculomotorius durch starke Belichtung der Netzhaut kann aber künstliche starke Reizung des Sympathicus aufkommen und eine Erweiterung der Pupille hervorbringen. Starke directe

1 Gräfe, Arch. f. Ophthalmologie II. 2. Abth. S. 302.

elektrische Reizung der ganzen Iris bringt eine mittlere Weite der Pupille zu Stande.[1]

Bemerkenswerth sind endlich die Beziehungen einiger Gifte zu der Innervation der Iris. Die sogenannten Mydriatica besonders Atropin und Hyoscyamin bewirken in die Säftemasse gebracht oder ins Auge geträufelt sehr andauernde Erweiterung der Pupille. Umgekehrt giebt es Gifte namentlich das Physostigmin, welche ebenso angewandt andauernde Verengerung bewirken und deshalb als „Myotica“ bezeichnet werden.

SECHSTES CAPITEL.

Abweichungen des wirklichen Auges vom idealen.

I. Farbenabweichung des Auges.

In allen bisherigen Betrachtungen wurde jedem brechenden Medium des Auges ein bestimmter Brechungsindex beigelegt. Dies ist aber streng genommen nicht zulässig, wenn es sich um das Sehen der uns umgebenden Objekte in natürlicher Beleuchtung durch Sonnenlicht oder auch in künstlicher Beleuchtung durch gewöhnliches Lampenlicht handelt. Es gehen alsdann bekanntlich von jedem Punkte der Oberfläche eines Körpers im Allgemeinen verschiedene — meist unzählige — Strahlenarten aus, die sich durch ihre Schwingungsdauer unterscheiden und die, wie später gezeigt werden wird, auf die Netzhaut verschiedenartige Eindrücke machen. Strahlen von verschiedener Schwingungsdauer kommen aber bekanntlich für dieselbe Zusammenstellung zweier brechender Medien im Allgemeinen verschiedene Brechungsindices zu, und zwar ist in der Regel der Brechungsindex um so grösser, je kleiner die Schwingungsdauer ist.

Sendet also ein Objektpunkt gleichzeitig Strahlenbündel von verschiedener Schwingungsdauer aus, so muss eine brechende Kugelfläche von demselben ebenso viele Bilder hintereinander liefern als Strahlenarten vorhanden sind, indem sich das gebrochene Strahlenbündel der geringsten Schwingungsdauer zuerst vereinigt, da seine Strahlen am stärksten abgelenkt werden und dann erst nach der Reihe die übrigen. Dasselbe

1 Engelhardt, Beiträge zur Lehre von den Bewegungen der Iris. In den Untersuchungen aus dem Würzburger Laborat. 4. Heft. herausgeg. von R. Gscheidlen.

muss stattfinden, wenn mehrere Brechungen an hintereinander liegenden Kugelflächen erfolgen, wenigstens sicher dann, wenn alle Brechungen im selben Sinne erfolgen, d. h. wenn die Knickungswinkel der Strahlen alle nach derselben Seite hohl sind, denn alsdann müssen zwei ursprünglich in derselben Richtung fortgepflanzte Strahlen von verschiedener Brechbarkeit bei jeder Brechung weiter auseinandertreten. Dies ist aber beim Auge im Allgemeinen der Fall. Es müssen also jedesfalls im Auge von ein und demselben Objektpunkte, wenn er verschiedene Lichtarten gleichzeitig aussendet, verschiedene Bilder hintereinander entstehen. Wenn also der die Strahlen von 450 Billionen Schwingungen in der Sekunde vereinigende Bildpunkt für einen gegebenen Objektpunkt in die Netzhaut fällt, so liegt der Bildpunkt sicher vor der Netzhaut, in welchem sich die Strahlen von 750 Billionen Schwingungen in der Sekunde vereinigen, die von demselben Objektpunkte ausgegangen sind, und es werden also diese Strahlen auf der Netzhaut in einen Zerstreuungskreis ausgebreitet sein.

Es scheint hiernach als wäre ein deutliches Sehen bei nicht homogener Beleuchtung unmöglich. Gleichwohl bemerkt man beim gewöhnlichen Sehakt auch in Beleuchtung mit gemischtem Lichte nichts von einer auf Farbenzerstreuung beruhenden Undeutlichkeit. Dies hat in verschiedenen Umständen seinen Grund. Erstens nämlich ist für die brechenden Medien des Auges, wie für alle wässrigen Lösungen der Unterschied der Brechungsindices der Strahlen verschiedener Schwingungsdauer nicht sehr gross, so dass die Vereinigungspunkte der verschiedenfarbigen Strahlen nur wenig hintereinander liegen, um so weniger als die Vereinigungsweiten im Auge überhaupt kurz sind. Die durch Farbenzerstreuung bedingten Zerstreuungskreise werden also überall sehr klein sein. Nimmt man z. B. für das brechende Medium des oben beschriebenen reducirten Auges dieselbe Dispersion an wie für das Wasser, so hätte man für das rothe Licht der Fraunhofer'schen Linie *C* den Brechungsindex 1,33 und für das violette Licht der Linie *G* den Brechungsindex 1,34 zu setzen. Die Brennweiten wären dann für rothes Licht 20,57, für violettes 20,14 mm. Wenn nun die Netzhaut mit der Brennweite für rothe Strahlen zusammenfiele, so würde der Zerstreuungskreis für die violetten bei einem Pupillendurchmesser von 4 mm. etwa 0,08 mm. Durchmesser haben, was allerdings schon eine in Betracht kommende, aber doch immerhin sehr kleine Grösse wäre. In Wirklichkeit scheint sogar die resultirende Farbenzerstreuung noch etwas grösser zu sein als die für das reducirte Auge soeben berechnete. Diese nämlich ergiebt, dass, wenn das Auge in monochromatischer rother Beleuchtung em-

metropisch angenommen wird, es in monochromatischer violetter Beleuchtung für 713 mm. oder 26 Zoll eingerichtet wäre. FRAUNHOFER hatte aber gefunden, dass sein eigenes bei rother Beleuchtung emmetropisches Auge in violetter Beleuchtung für nur 18 bis 24 Zoll eingerichtet war. Ebenso fanden HELMHOLTZ und MATTHIESSEN den Unterschied der Sehweite für rothes und violettes Licht etwas freilich nur wenig grösser, als es den obigen Annahmen für das reducirte Auge entspricht. Trotzdem stört wie gesagt die chromatische Abweichung den gewöhnlichen Sehakt niemals in merklichem Grade. Dazu trägt besonders folgender Umstand bei. Beim gewöhnlichen Sehakt wirkt in der Regel Licht, in dem die Strahlen von kleinster und grösster Brechbarkeit nur in geringer Intensität physiologisch wirken, so dass wenn die Retina sich in der Vereinigungsweite der Strahlen von mittlerer Brechbarkeit befindet, die Zerstreuungskreise, welche alsdann schon geometrisch noch kleiner sind als vorhin berechnet wurde, auch so schwach beleuchtet sind, dass ihre Helligkeit gegenüber der Helligkeit des Centrums geradezu verschwindet. Man sieht leicht, dass auch abgesehen von der geringen Intensität der äussersten rothen und violetten Strahlen ein Zerstreuungsbild der in Rede stehenden Art in der Mitte am hellsten sein muss, da sie von Strahlen aller Brechbarkeitststufen beleuchtet ist, während jede folgende concentrische Zone von weniger Strahlen getroffen wird als die nächst vorhergehende von ihr umschlossene.

Betrachtet man eine weisse Fläche auf dunklem Grunde und nimmt man das Auge für Strahlenbündel mittlerer Brechbarkeit, welche von Punkten dieser Fläche ausgehen, eingerichtet an, so kann man berechnen, wie die Helligkeit am Rande des Netzhautbildes abnimmt.

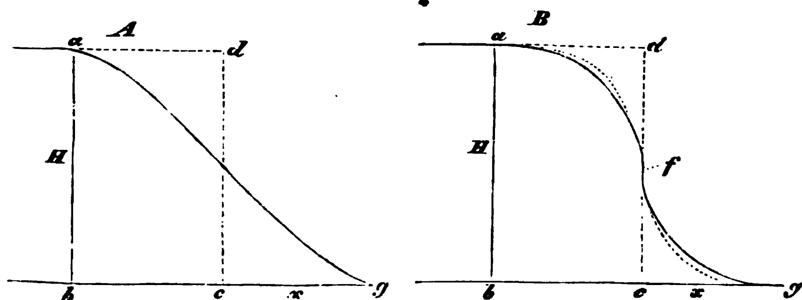


Fig. 23.

HELMHOLTZ stellt das Ergebniss dieser Rechnung durch die Curve *afg* unter *B* Fig. 23 dar. Als Abscissenaxe ist eine Linie gedacht, welche den Rand des Bildes senkrecht durchschneidet und der Punkt *c*

bedeutet den Durchschnittspunkt derselben mit der Randlinie, welche gelten würde, wenn nur Strahlen von mittlerer Brechbarkeit vorhanden wären und mithin ein geometrisch scharfes Bild entstände. Wegen der chromatischen Zerstreuungskreise greift nun die Helligkeit ein wenig nach aussen (bei *g*) über diesen Rand hinüber und ein wenig nach innen erstreckt sich die Verminderung der vollen Helligkeit, welche erst von *b* an nach links im Inneren des Bildes statthat. Die Helligkeit in jedem Punkte ist durch die daselbst zu errichtende Ordinate der Curve *afg* dargestellt; *ba* ist mithin das Maass der vollen Helligkeit, welche von *b* nach links konstant bleibt. Der Gang der Curve zeigt einen senkrechten Abfall (bei *f*) also eine plötzliche Verminderung der Helligkeit in dem Punkte *c*, welcher dem Rande des absolut deutlichen Bildes entspricht. Dieser plötzliche Abfall der Helligkeit muss sich aber dem Bewusstsein als eine scharfe Grenze bemerklich machen, so dass ein solches Bild für das Sehen denselben Dienst leistet wie ein vollkommenes, dessen Helligkeitskurve durch die geknickte Linie *adcg* darzustellen wäre. Es ist noch zu bemerken, dass die Kurve *afg* von Helmholtz konstruirt ist ohne Rücksicht auf den Umstand, dass die Strahlen von grösster und von kleinster Brechbarkeit im Spektrum des weissen Lichtes von weit geringerer Wirkung sind. Wenn man hierauf Rücksicht nimmt, so nähert sich die Kurve der geknickten Linie *adcg* noch mehr, in dem sie etwa wie die punktirte Linie verliefe.

Ganz anders verläuft die Helligkeitskurve auf einer den Rand des Bildes durchsetzenden Linie, wenn Zerstreuungskreise in Folge unvollkommener Anpassung vorhanden sind. Jeder solche einzeln betrachtet, ist gleichmässig hell in seiner ganzen Ausdehnung und daher greift die Helligkeit annähernd gleichmässig über den Rand des deutlichen Bildes hinüber und die Verdunkelung ebenso annähernd gleichmässig ins Innere hinein. Unter *A* Fig. 23 hat Helmholtz die Helligkeitskurve am Saume eines solchen wegen mangelhafter Einstellung undeutlichen Bildes gegeben. Diese Kurve *ag* hat keinen ausgezeichneten Punkt und es ist daher für das Bewusstsein kein Anhalt gegeben zu ermessen, wo auf der Strecke *bg* die Grenze des deutlichen Bildes liegt. So erklärt es sich, dass wir die geringste Verwischung der scharfen Grenzen zwischen Hell und Dunkel durch mangelhafte Einstellung schon bemerken, während uns eine Verwischung durch Farbenzerstreuung vollständig entgeht.

Um die unzweifelhaft vorhandene Farbenzerstreuung wirklich am eigenen Auge zu bemerken, muss man daher besondere Veranstaltungen treffen. Eine solche besteht darin, dass man seine Seh-

weite nacheinander in verschiedener monochromatischer Beleuchtung bestimmt. Man findet sie, wie oben schon erwähnt wurde, stets in rother Beleuchtung beträchtlich grösser als in violetter. Da man hier aber immer noch den freilich nur spitzfindigen Einwand erheben könnte, es handle sich um unwillkürliche Akkommodationsvorgänge, so ist es lehrreich noch einige Thatsachen kennen zu lernen, bei denen wirklich farbige Säume entstehen, wie an den Bildern mangelhaft achromatisirter Fernröhre. Die einfachste derartige Thatsache kann man jeden Augenblick in folgender Art beobachten. Man betrachte eine Grenze zwischen einer weissen und schwarzen Fläche mit vollkommener Anpassung. Man wird keinen farbigen Saum bemerken. Sowie man aber jetzt einen grossen Theil der Pupille mit einem Schirm verdeckt, dessen Kante parallel ist der Grenze zwischen hell und dunkel im Objekte, so erscheint jene Grenze gelb gesäumt, wenn der Theil der Pupille verdeckt ist, welcher nach der Seite des Schwarz im Objekte liegt und sie erscheint blau gesäumt im entgegengesetzten Falle. Die Erklärung ist sehr einfach. Sei in Fig. 24 A ein weiss leuchtender Punkt,

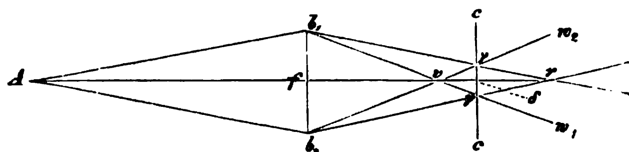


Fig. 24.

$b_1 b_2$ sei die Pupille, das violette von A ausgehende Strahlenbündel vereinige sich in v, das rothe in r. Die Netzhaut befinde sich bei cc, so dass in ihr das Bündel von Strahlen mittlerer Brechbarkeit vereinigt wird. Der sehr kleine Zerstreuungskreis $\gamma\gamma$ wird überall von gemischtem Lichte getroffen werden, also nicht merklich gefärbt erscheinen. Schiebt man aber einen Schirm vor, der z. B. die untere Hälfte des Strahlenbündels fb_2 abhält, so kommen auf den oberen Theil des Zerstreuungskreises nur noch Strahlen von kleiner Brechbarkeit und auf den unteren Theil nur noch solche von grosser Brechbarkeit. Daher wird nach aussen projicirt der Punkt A oben blau und unten gelb und roth aussehen. Ist A ein Punkt der wagrechten Grenze zwischen einer oben gelegenen weissen und unten gelegenen schwarzen Fläche, so schieben sich nur die oberen Säume der Zerstreuungskreise über die andern hervor und die Grenze erscheint gelb oder röthlich gesäumt. Ist umgekehrt A ein Punkt der wagrechten Grenze zwischen unten weiss und oben schwarz, so schieben sich nur die unteren blauen Theile der Zerstreuungskreise über das ganz weisse

Feld hervor und bilden einen blauen Saum wie es dem obigen Satze entspricht.

Alle Erscheinungen der Farbenzerstreuung treten subjektiv weit stärker hervor, wenn man nicht weisse Beleuchtung anwendet, sondern solche, in welcher zwei Lichtarten von möglichst verschiedener Brechbarkeit vorherrschen. Solches Licht erhält man z. B. wenn man Sonnen- oder Lampenlicht durch Kobaltglas gehen lässt. Das durchgelassene Licht enthält nämlich vorwiegend rothe und blaue Strahlen und nur sehr wenig von mittlerer Brechbarkeit. Wenn man solches Licht anwendet, erscheint schon ohne Verdeckung eines Theiles der Pupille ein hellleuchtender Punkt entweder mit einem blauen oder rothen Hofe, je nachdem das Auge für blaue oder für rothe Strahlen eingerichtet ist.

II. Astigmatismus.

Bisher haben wir immer ein ideales Auge vorausgesetzt, welches ein centrirtes System von sphärischen Trennungsflächen in aller mathematischen Strenge darstellt. Diese Voraussetzung ist aber nur annäherungsweise im wirklichen Auge erfüllt, daher können auf der Netzhaut selbst bei monochromatischer Beleuchtung niemals absolut scharfe Bilder entstehen.

Schon bei der Beschreibung des brechenden Systemes wurde erwähnt, dass die vordere Hornhautfläche nicht genau einen Kugelabschnitt darstellt, dass sich ihr wagrechter Meridian vielmehr eher einer Ellipse, als einem Kreise anschliesst. Diese Abweichung bringt aber keine Ungenauigkeit der Bilder hervor, vielmehr trägt sie zur Erhöhung der Deutlichkeit bei, da an einer Kugelfläche die Randstrahlen eines homocentrischen Bündels verhältnissmässig zu stark gebrochen werden und dieser Fehler also durch die schwächere Krümmung der Hornhaut am Rande verbessert wird. Ueberhaupt kann aber dieser Umstand für das direkte Sehen nur bei ausnahmsweise weiter Pupille zur Sprache kommen.

Es wurde ferner bei der Beschreibung der brechenden Flächen noch einer andern Abweichung gedacht, nämlich der unvollkommenen Centrirung, d. h. es wurde gezeigt, dass die Mittelpunkte der drei Haupttrennungsflächen nicht genau auf einer geraden Linie liegen. Hierdurch muss nothwendig eine gewisse Asymmetrie in die Brechung jedes Strahlenbündels gebracht werden, so dass seine Strahlen nicht mehr genau gleichmässig um den mittleren herum vertheilt bleiben können, selbst wenn dieser mittlere Strahl die Axe selbst

wäre. Eine ähnliche Asymmetrie wird hervorgebracht durch eine andere Abweichung der Trennungsflächen, welche bei der Beschreibung derselben einstweilen unberücksichtigt geblieben ist. Durch genaue ophthalmometrische Messung der Reflexbilder in verschiedenen Meridianebenen kann man nämlich direkt nachweisen, dass die Krümmung der verschiedenen Hornhautmeridiane selbst am Scheitel verschieden ist. Es ist hierbei vor Allem der folgende allgemeine geometrische Satz zu beachten: wenn man in einem Punkt einer irgendwie gestalteten krummen Fläche die Normale errichtet und durch dieselbe ein Büschel von Ebenen legt, so stehen allemal die beiden dieser Ebenen aufeinander senkrecht, in welche die Schnittkurven fallen, welche in dem gedachten Punkte die grösste und die kleinste Krümmung haben. Wenden wir dies auf den Scheitel der Hornhaut an, so ergiebt sich, dass, wofern überall die verschiedenen Meridiane verschiedene Krümmung besitzen, der Meridian grösster und der Meridian schwächster Krümmung jedesfalls aufeinander senkrecht stehen.

Um anschaulich zu machen, wie gross die Verschiedenheiten der Krümmung am Hornhautscheitel in verschiedenen Meridianen bei normalen Augen zu sein pflegen, sind in der Tabelle (S. 106) einige Resultate ophthalmometrischer Messung zusammengestellt.

In der ersten Spalte bedeutet der Buchstabe *m* männliches, *w* weibliches Geschlecht und die Zahl das Alter in Jahren. In der zweiten Spalte bedeutet *E* Emmetropie, *M* Myopie, *H* Hypermetropie und der dabei stehende Bruch den Grad derselben. In den nun folgenden 12 Spalten sind die Krümmungsradien am Scheitel der vorderen Hornhautfläche in 12 Meridianebenen in Millimetern eingeschrieben. Der Meridian ist durch den in der Ueberschrift der Spalte bezeichneten Winkel mit dem horizontalen Meridian bestimmt, so dass die mit 0^0 überschriebene Spalte die Halbmesser der horizontalen, die mit 90^0 überschriebene die Halbmesser der vertikalen Meridiane enthält. Im dritten Theil der nun folgenden Spalte ist der Winkel angegeben, welchen der Meridian grösster Krümmung (welche dem kleinsten Krümmungshalbmesser entspricht) mit dem horizontalen Meridian einschliesst. Die Strichelchen in den beiden ersten Abtheilungen dieser Spalte sollen ungefähr eine Idee von der Lage des Meridians grösster Krümmung geben und zugleich andeuten, ob sich die Messung auf ein rechtes oder linkes Auge bezieht. Ist der Strich in der ersten Abtheilung, so bezieht er sich auf ein rechtes Auge und umgekehrt. Die Senkrechte zwischen den beiden Abtheilungen kann so angesehen werden als bedeute sie die Medianebene des Gesichtes, dessen Antlitz-

Geschlecht u. Alter.	Refraktionszustand.	Krümmungshalbmesser am Scheitel der Hornhaut in mm. in den verschiedenen Meridianen.												Lage des Hornhautmeridianes grösster Krümmung.			Lage des Meridianes grösster Krümmung im reducirten Auge.			Grad des Astigmatismus des gesammten Auges.	Beobachter.
		0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°	165°								
m 24	M 1/50	7,94	7,96	7,84	7,66	7,70	7,73	7,71	7,90	7,86	7,82	7,85	7,88		|	90°		\	72°	As = 1/92	Stamer.
m 25	E	8,22	8,02	7,99	7,96	7,98	8,11	8,05	8,09	8,09	8,22	8,24	8.31	/		45°	|		92½°	As = 1/92	Middelburg.
m 25	M 1/80	8,14	8,17	8,16	8,13	8,22	8,09	8,06	8,07	8,01	7,98	8.08	8.13		/	135°		\	87½°	As = 1/55	Middelburg.
m 36	E	8,13	8,33	8,39	8,35	8,25	8,14	8,02	8,07	8.01	8,09	8,03	8,14	\		120°	/		62°	As ≦ 1/100	Middelburg.
m 36	E	8,47	8,41	8,36	8,35	8,33	8,24	8,18	8,14	8,13	8,09	8,15	8,23		/	120°		/	97°	As < 1/100	Middelburg.
m 16	E	7,93	7,88	7,62	7,56	7,63	7,63	7,85	7,76	7,84	7,96	7,88	7,98	/		55°	\		95°	As ≦ 1/100	Middelburg.
m 16	H 1/80	7,92	7,91	7,87	7,85	7,78	7,62	7.68	7,62	7.53	7,48	7,63	7.68		/	120°		|	90°	As ≦ 1/100	Middelburg.
w 18	E	8,06	7,83	7,82	7,80	7,82	7,85	7,89	7,99	7,91	8,11	8,00	7,11	/		45°	—		2°		Middelburg.

fläche man wie die Tabelle vor sich hätte. Die beiden folgenden Spalten enthalten Grössen, welche erst im Folgenden zu behandeln sind.

Geht man die 12 Krümmungshalbmesser derselben Hornhaut der Reihe nach durch, so sieht man den Werth allmählich zu- und wieder abnehmen und im allgemeinen liegen die Meridiane des maximalen und minimalen Werthes um 90⁰ auseinander, wie der oben angezogene Satz erfordert. Es fehlt übrigens nicht an kleinen Abweichungen von der Regelmässigkeit des Wachsens und Abnehmens, wie das bei so schwierigen Messungen kaum anders zu erwarten ist.

Fällt auf eine brechende Fläche von solcher Beschaffenheit ein Strahlenbündel von kleiner Basis, so kann natürlich eine punktuelle Vereinigung des gebrochenen Bündels nicht stattfinden, selbst wenn das Bündel nahezu normal auffällt, d. h. selbst wenn alle Strahlen des Bündels nur sehr kleine Winkel mit den entsprechenden Einfallslothen bilden. Denn nennen wir r_1 den grössten und r_2 den kleinsten Krümmungshalbmesser am Scheitel der Fläche, sowie n den Brechungsindex und denken wir uns das Bündel von einem in der Entfernung p gelegenen Punkte ausgegangen, so werden die Strahlen des Bündels, welche auf den Meridian schwächster Krümmung fallen, in einer Entfernung

$$= \frac{np \,.\, r_1}{p(n-1) - r_1}$$

vereinigt werden, so als ob sie auf eine Kugelfläche mit dem Radius r_1 gefallen wären, und die Strahlen, welche auf den Meridian stärkster Krümmung treffen, vereinigen sich in einem Abstande

$$= \frac{npr_2}{p(n-1) - r_2}$$

der offenbar kleiner ist als jener. Es lässt sich nun zeigen, dass die übrigen Strahlen des Bündels in der letzteren Entfernung sämmtlich durch ein kleine begrenzte Gerade hindurchgehen, die im Vereinigungspunkte der stärkstgebrochenen Strahlen auf dem mittleren Strahle senkrecht steht und in der Ebene des Meridianes schwächster Krümmung liegt; und dass in der Vereinigungsweite der schwächst gebrochenen Strahlen die sämmtlichen übrigen Strahlen durch die Punkte einer kleinen begrenzten Geraden gehen, welche im Vereinigungspunkte der schwächst gebrochenen Strahlen auf dem mittleren Strahle senkrecht steht und in der Ebene des Meridianes stärkster Krümmung liegt. Die Begrenzung der erstgedachten Vereinigungslinie sämmtlicher Strahlen des Bündels — oder der „vorderen Brennlinie" — wird gebildet durch die beiden äussersten Strahlen des

schwächst gebrochenen Büschels [1], die von allen Strahlen des Bündels hier noch am weitesten von einander abstehen. Aehnlich wird die Begrenzung der zweiten Vereinigungslinie sämmtlicher Strahlen des Bündels oder die „hintere Brennlinie“ gebildet durch die beiden äussersten Strahlen des stärkst gebrochenen Büschels, welche hier von allen Strahlen schon wieder am weitesten auseinander getreten sind. Die Gestalt des ganzen gebrochenen Bündels wird also ganz dieselbe sein wie die schon früher beschriebene, welche entsteht durch Brechung eines dünnen Strahlenbündels an einer Kugelfläche, wenn es sehr schräg auf dieselbe fällt.

In Fig. 25 sind vier Randstrahlen des stärkst und des schwächst gebrochenen Büschels und der mittlere Strahl perspektivisch ge-

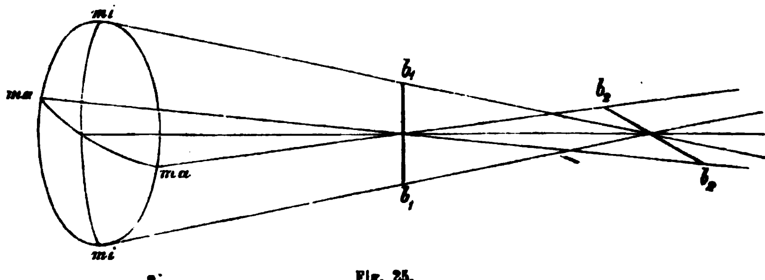


Fig. 25.

zeichnet. Es sei der senkrechte Meridian *mi mi* der Meridian schwächster Krümmung oder von grösstem Halbmesser und der wagrechte *ma ma* der Meridian stärkster Krümmung, dann wird das ganze Strahlenbündel zuerst auf der senkrechten begrenzten Brennlinie $b_1 b_1$ und hernach auf der wagrechten begrenzten Brennlinie $b_2 b_2$ vereinigt sein. Die zwischen den beiden Brennlinien eingeschlossene Strecke des Centralstrahles heisst „Brennstrecke“. Man kann diese Gestalt des Strahlenbündels anschaulich machen, indem man eine parallelepipedische Wassermasse vorn begrenzt durch ein uhrglasartiges Stück, dessen Krümmung in den verschiedenen Meridianen verschieden ist. Ein solches erhält man leicht durch Aussprengen aus einem Flaschenbauch. Lässt man auf die Vorderfläche dieses Glasstückes (das als die vordere Begrenzung der Wassermasse selbst gelten kann) von einem hellleuchtenden Punkte ein homocentrisches Strahlenbündel fallen, so kann man die Durchschnittsfigur des gebrochenen Strahlenbündels sichtbar machen auf einem in die Wassermasse eingesetzten matten Glasschirm. Ist wie oben an-

1 Bezüglich der Bedeutung des Wortes Büschel im Unterschiede von Bündel siehe Seite 77, Anm.

genommen wurde der senkrechte Meridian der Trennungsfläche in Wirklichkeit am schwächsten gekrümmt, so giebt es eine Stellung des Schirmes, in der auf ihm ein kleiner senkrechter Strich beleuchtet erscheint und eine zweite Stellung in etwas grösserer Entfernung von der Trennungsfläche, wo ein kleiner wagrechter Strich auf dem Schirm beleuchtet ist. Wenn nun der durchsichtige Theil der Trennungsfläche, so genau als es die Krümmung zulässt, kreisförmig begrenzt ist, so erscheint in jeder anderen Stellung des Schirmes auf demselben eine elliptische Lichtfigur, deren grosse Axe senkrecht steht, wenn der Schirm eine Stellung zwischen der Trennungsfläche und der ersten Brennlinie einnimmt. Steht dagegen der Schirm weiter als die 2te Brennlinie von der Trennungsfläche ab, so liegt die grosse Axe der Ellipse wagrecht. Zwischen den Brennlinien giebt es eine Lage des Schirmes, wo der beleuchtete Fleck kreisförmig begrenzt ist. In Fig. 26 ist eine Reihe der aufeinander folgenden Durchschnittsfiguren

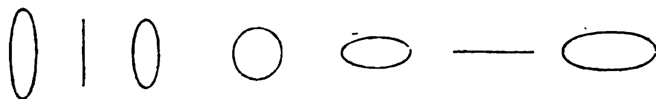


Fig. 26.

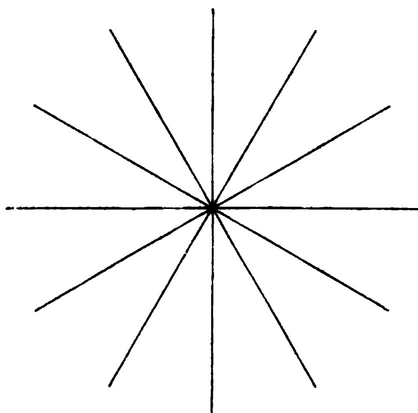
des Strahlenbündels gezeichnet. Wenn ein dünnes, ursprünglich homocentrisches Strahlenbündel durch mehrere hintereinander liegende Trennungsflächen hindurchgeht, von denen eine oder auch mehrere nicht genau drehrund ist, oder von denen eine oder mehrere nicht sehr annähernd normal vom mittleren Strahle des Bündels getroffen werden, so hat das Bündel nach der letzten Brechung stets die soeben beschriebene Gestalt, d. h. an zwei Stellen ist es auf eine kleine gerade Linie concentrirt und die Richtungen dieser beiden Linien, der Brennlinien überkreuzen einander senkrecht. Die Abweichung der Gestalt des gebrochenen Bündels von der eines homocentrischen braucht aber, nachdem sie an einer Fläche entstanden ist, nicht nothwendig durch die folgenden Brechungen vergrössert zu werden. Im Gegentheil ist es denkbar, dass sie bei einer folgenden wieder verkleinert wird, wenn nämlich an der betreffenden Fläche die grösste Krümmung in die Ebene fällt, in welche an der vorhergehenden Fläche die kleinste Krümmung fiel. Es ist sogar der Fall an sich denkbar, dass die durch eine Brechung erzeugte Abweichung durch eine folgende vollständig aufgehoben und das resultirende Strahlenbündel genau homocentrisch wird. Denkt man sich aber die Orientirung der Flächen um die Axe herum rein zufällig, so hat dieser Fall natürlich eine

unendlich kleine Wahrscheinlichkeit und es werden im Allgemeinen die Ebenen der stärksten Krümmung bei den verschiedenen Flächen weder zusammenfallen, noch aufeinander senkrecht stehen, sondern beliebige schiefe Winkel miteinander bilden. In einem solchen Falle wird die Lage der vorderen Brennlinie mit keiner der Ebenen schwächster Krümmung genau zusammenfallen, sondern eine mittlere Lage einnehmen, die von der Orientirung der Flächen und von den Unterschieden ihrer Krümmungshalbmesser abhängt in einer Weise, die hier nicht eingehend zu erörtern ist.

Da an einer Fläche des Auges, nämlich an der vorderen Hornhautfläche eine verschiedene Krümmung in verschiedenen Meridianen als normale Bildung nachgewiesen ist, so haben wir nach den vorstehenden Erörterungen zu erwarten, dass die Strahlenbündel im Glaskörper, die soeben beschriebene Abweichung von der Homocentricität zeigen, welche als „Astigmatismus“ bezeichnet wird. In der That ist es ja, wie schon bemerkt wurde, sehr unwahrscheinlich, dass etwa bei jedem normalen Auge der Astigmatismus der Hornhaut durch einen entgegengesetzten Astigmatismus der Linsenflächen genau compensirt wird. Sahen wir doch die Lage des Meridianes stärkster Krümmung der Hornhaut bei verschiedenen Augen ganz regellos variiren. Wie sollte da der compensirende Astigmatismus der Linse diesen regellosen Variationen in jedem Individuum genau folgen?

Man könnte jetzt verlangen, dass die Abweichungen der Linsenflächen von der Kugelgestalt oder von der genauen Centrirung ähnlich wie die der Hornhaut objektiv durch Messung der Reflexbilder bestimmt würden und dass dann der resultirende Astigmatismus des Auges berechnet würde. Die Lösung dieser Aufgabe ist indessen wohl fürs erste unmöglich. Man muss sich daher darauf beschränken, durch subjektive Prüfungen über den resultirenden Astigmatismus eines Auges sich Kenntniss zu verschaffen. Jedesfalls ist derselbe übrigens bei normalen Augen so gering, dass er sich beim Sehen der alltäglichen Objekte nicht störend bemerklich macht. Beim Betrachten gewisser Objekte kann man sich aber leicht überzeugen, dass fast jedes Auge mit einem mehr oder weniger hohen Grade von Astigmatismus behaftet ist. Das geeignetste Objekt zu diesem Zwecke bildet ein sternförmiges System feiner schwarzer Striche auf hellem Grunde wie Fig. 27. Stellt man ein solches dem Auge gegenüber in die Ferngrenze des Sehens (ein emmetropisches oder hypermetropisches Auge wäre dabei mit einer Sammellinse zu bewaffnen), so wird man selten auf ein Auge treffen, welches alle Striche gleich deutlich sieht, wenn es den Kreuzungspunkt derselben fixirt.

In weitaus den meisten Fällen wird der Geprüfte angeben, dass er eine (oder zwei benachbarte) am deutlichsten oder am „schwärzesten" sieht, die übrigen aber so als wären sie schwächer gezogen. Die schärfst gesehene Linie ist bei dem einen Menschen die wagrechte, bei einem andern die senkrechte, bei wieder andern diese oder jene von den schrägen. Die Richtung der schärfst gesehenen Linie bezeichnet nun für das Auge die Meridianebene, welcher die hinteren Brennlinien der im Glaskörper fortgepflanzten Strahlenbündel parallel sind. Man kann dies auch so ausdrücken: Sollte die optische Wirkung des Auges durch eine einzige Trennungsfläche so annähernd als möglich ausgeübt werden, so müsste man dieser eine Abweichung von der Kugelgestalt in dem Sinne beilegen, dass die Meridianebene stärkster Krümmung den deutlichst gesehenen Strich enthält. Ist nämlich das Objekt an der Ferngrenze des Sehens, so dass jede weitere Entfernung schon eine merkliche Undeutlichkeit hervorbringt, so liegen offenbar die hinteren Brennlinien der einzelnen Strahlenbündel in der Netzhaut, denn wenn die Netzhaut die Strahlenbündel weiter vorn etwa in der vorderen Brennlinie schnitte, so würde ein weiteres Wegrücken des Objektes zunächst noch keine Undeutlichkeit zur Folge haben, da bei diesem Weiterrücken erst noch die übrige Brennstrecke und zuletzt die hintere Brennlinie die Netzhaut durchwandern würde. Das Bild eines schwarzen Striches im Objekte, dessen Richtung der hinteren Brennlinie jedes Strahlenbündels parallel ist, wird aber bei einem noch so hohen Grade des Astigmatismus, wofern derselbe nur ganz regelmässig ist, ganz ebenso deutlich sein, wenn diese hinteren Brennlinien in die Retina fallen, als wenn in derselben eine vollkommen punktuelle Vereinigung der Strahlenbündel stattfände. Von den Brennlinien der Punkte des hellen Grundes ragt ja nichts in den Raum des idealen Bildes des schwarzen Striches hinein. Anders verhält es sich für jeden Strich im Objekte, dessen Richtung eine andere ist. Hier greifen die schräg dazu liegenden Brennlinien von benachbarten Punkten des hellen Grundes in den Raum des idealen


Fig. 27.

Bildes ein und erhellen also mehr oder weniger das Dunkel, welches hier herrschen sollte. Im höchsten Grade wird dies gelten für den Strich, dessen Richtung auf der Richtung der hinteren Brennlinien senkrecht steht. Es wäre somit die Erscheinung, dass in einer an der Ferngrenze des Sehens betrachteten Sternfigur ein Strich am deutlichsten und der darauf senkrechte am undeutlichsten gesehen wird aus dem Astigmatismus des Auges befriedigend erklärt. In der Tabelle S. 106 ist eine Spalte überschrieben „Lage des Meridianes grösster Krümmung im reducirten Auge". Nach den vorstehenden Auseinandersetzungen ist diese Ueberschrift verständlich. Es ist eben einfach derjenige Meridian, welchem die hinteren Brennlinien der im Glaskörper des betreffenden Auges wirklich fortgepflanzten Strahlenbündel parallel sind, oder der Meridian, dem man die stärkste Krümmung beizulegen hätte, wenn man dasselbe in der S. 64 angegebenen Art auf eine einzige brechende Fläche reducirt.

Vergleicht man die in Rede stehende Spalte der Tabelle mit der vorhergehenden, so gewahrt man, dass die hinteren Brennlinien der im Glaskörper wirklich fortgepflanzten Strahlenbündel nicht parallel sind dem Meridiane stärkster Krümmung der Hornhaut. Dies zeigt, dass der Astigmatismus des Gesammtauges nicht allein abhängt von der Abweichung der vorderen Hornhautfläche von der Kugelgestalt, dass vielmehr auch die Linsenflächen durch Abweichung, sei es von der Centrirung, sei es von der Kugelgestalt Einfluss darauf haben. Durch diesen Einfluss wird natürlich einerseits die Lage der Ebene stärkster Gesammtbrechung mitbestimmt, andererseits kann der Betrag des Gesammtastigmatismus dadurch sowohl grösser als kleiner werden, als der Betrag des Hornhautastigmatismus.

Rückt man jetzt die Sternfigur (die übrigens aus sehr feingezogenen Strichen bestehen muss) an die Nahegrenze des Sehens, so ist bei einem regelmässig gebildeten Auge stets derjenige Strich zuletzt noch deutlich zu sehen, welcher auf dem an der Ferngrenze deutlichst gesehenen senkrecht steht. Dies ist auch von vorn herein zu erwarten, wenigstens unter der Voraussetzung, dass die beim Versuch stattfindende Anpassung den Astigmatismus nicht wesentlich verändert. In der That wird beim Annähern des Objektes die Undeutlichkeit dann anfangen merklich zu werden, wenn die ganze Brennstrecke hinter der Netzhaut liegt.[1] Wenn also gerade noch die vorderen Brennlinien der Strahlenbündel mit der Netzhaut

1 Für einen Beobachter, der bei Annäherung des Objektes den ursprünglichen Refraktionszustand aufrecht erhalten kann, ist es nicht erforderlich das Objekt bis an die Nahegrenze des Sehens heranzurücken.

zusammenfallen, wird wenigstens derjenige Strich der Sternfigur noch vollkommen deutlich erscheinen, dessen Richtung der Richtung der vorderen Brennlinien parallel ist. Da diese aber die Richtung der hinteren Brennlinie senkrecht überkreuzt, so muss an der Nahegrenze des Sehens diejenige Linie der Sternfigur am deutlichsten erscheinen, welche auf der an der Ferngrenze am deutlichsten gesehenen senkrecht steht. An meinen eigenen Augen kann ich z. B. gegenwärtig in dieser Beziehung folgendes feststellen. Dem linken Auge erscheint an der Ferngrenze am deutlichsten eine Linie, deren linkes Ende sich etwa 5—10 ⁰ Grad unter den Horizont neigt und an der Nahegrenze eine solche deren oberes Ende sich ein wenig nach links von der Vertikalen entfernt, die also auf jener ersteren in der That merklich senkrecht steht. Dem rechten Auge erscheint an der Ferngrenze am deutlichsten eine Linie deren oberes Ende unter einem Winkel von etwa 15 ⁰ von der Vertikalen nach links abweicht an der Nahegrenze eine solche die sich links unter einem eben solchen Winkel unter den Horizont neigt. Die an der Fern- und Nahegrenze deutlichst gesehenen Linien stehen also gleichfalls auf einander senkrecht.

Wenn sich bei einem Augen von dieser gesetzmässigen Beziehung grössere oder kleinere Abweichungen finden sollten, so würde dies darauf deuten, dass durch die Anpassungsveränderung des Auges der Astigmatismus wesentlich verändert wird, was an sich keineswegs unmöglich ist, da ja derselbe theilweise von der Gestalt der Linsenflächen bedingt ist. Die Meridianebene stärkster Krümmung hat wie schon aus den angeführten Beispielen ersichtlich ist, bei verschiedenen Augen verschiedene Lage, doch soll nach SNELLEN[1] die nahezu verticale Lage derselben am häufigsten sein.

Für einen bestimmten Zustand des Auges z. B. den Ruhezustand des Akkommodationsapparates ist offenbar dem Astigmatismus ein bestimmter numerisch ausdrückbarer Grad zuzuschreiben. Die Wahl einer Grösse deren numerischer Werth zweckmässig zum Maasse des Astigmatismus dienen kann, wird auf dasselbe Princip zu gründen sein, welches wir zur Messung des Refraktionszustandes (Myopie, Emmetropie, Hypermetropie) des ideal gedachten Auges angewandt haben. In der That können wir ja den Astigmatismus so auffassen, als käme dem Auge in verschiedenen Meridianen ein verschiedener Grad von Myopie (negative Werthe nicht ausgeschlossen) zu. Wäre nämlich das Auge rings um die Axe so gestaltet wie im Meridian stärkster Brechung dem die hinteren Brennlinien parallel sind, so

1 SNELLEN, Arch. f. Ophthalmologie XV. 2. Abth. S. 199.

würde es in einem gewissen Betrage stärker myopisch sein, als wenn es rings um die Axe so gestaltet wäre, wie in dem Meridane schwächster Brechung. Die Differenz zwischen diesen beiden Myopiegraden giebt offenbar das geeignetste Maass für den Grad des Astigmatismus.

Man kann diese Differenz auf verschiedene Art ermitteln. Am nächsten liegt es ganz einfach optometrisch zu verfahren. Man kann ja durch Vorsetzen eines engen Spaltes vor das Auge bewirken, dass von jedem aus einem leuchtenden Punkt ausgehenden Strahlenbündel nur ein ebenes Büschel ins Auge gelangt, welches sich nur in einer Meridianebene oder nahezu in einer solchen weiter fortpflanzt und mithin da punktuell vereinigt wird, wo das ganze Bündel zur punktuellen Vereinigung käme, wenn das Auge rings um die Axe so gestaltet wäre, wie in dem betreffenden Meridiane. Lässt man also das Auge durch einen solchen Spalt ein geeignetes Probeobjekt betrachten, so kann man die Sehweite für den Meridian direkt abmessen d. h. die Entfernung, in welcher das Objekt durch den Spalt gesehen, am deutlichsten erscheint. Das geeignetste Probeobjekt für diese Untersuchung bildet ein System feiner schwarzer Linien, deren Richtung zur Richtung des Spaltes senkrecht steht. An einem solchen muss nämlich jede Undeutlichkeit am leichtesten bemerklich werden, weil die zur Wirksamkeit kommenden Büschel vor und nach ihrer punktuellen Vereinigungen den auffangenden Schirm in einer Linie schneiden die auf der gedachten Richtung der Objektlinien senkrecht steht. Hat man nun die Richtung der vorderen und hinteren Brennlinie für das Auge zuvor schon ermittelt, so wird man nur diese beiden Meridiane zu prüfen haben. Man ermittelt nämlich die Sehweiten für dieselben in der beschriebenen Art, indem man einmal den Spalt in die Meridianebene der vorderen und dann in die Meridianebene der hinteren Brennlinie bringt. Wenn man dann die reciproken Werthe der beiden gefundenen Sehweiten in pariser Zollen ausgedrückt von einander abzieht und die Differenz in die Form eines Bruches mit dem Zähler 1 bringt, hat man das konventionelle Maass des Astigmatismus.

Eine Prüfung nach dem vorstehenden Princip könnte auch mit einem auf den Scheiner'schen Versuch gegründeten Optometer ausgeführt werden wenn man in den Okularschirm statt der üblichen beiden Schlitze bloss zwei Löchelchen anbrächte und diesen Schirm um die Axe des Instrumentes drehbar einrichtete, so dass die Verbindungslinie der beiden Löchelchen in jede beliebige Meridianebene des Auges bringen könnte. Als Objekt müsste dabei ein einzelner leuchtender Punkt oder eine leuchtende Linie angewandt werden deren Richtung jedesmal senkrecht stehen müsste auf der Richtung der Verbindungslinie der beiden Okularlöchelchen d. h. auf der Meridianebene, welche untersucht wird. Einrichtungen dieser letzteren Art scheinen indessen bei den Augenärzten nicht in Gebrauch zu sein, dagegen liefern die für ophthalmologische Zwecke arbeitenden Werkstätten Bestecke zur optometrischen Bestimmung des Astigmatismus nach der ersten Art, die einen mit Handgriff versehenen Okularschirm enthalten. Derselbe ist in der Fassung in seiner Ebene drehbar, so dass ein darin befindlicher schmaler Spalt bequem in jede Meridianebene des Auges gebracht werden kann. Als Probeobjekt ist ein Drahtgitter in einem Rähmchen mit Handgriff beigegeben, das vor einem hel-

len Hintergrund in die passende Sehweite so gestellt wird, dass die Stäbe des Gitters senkrecht auf der jeweiligen Richtung des Okularspaltes stehen.

Auch zu dem S. 75 erwähnten Gräfe'schen Optometer liefern die optischen Werkstätten einen Schirm mit Spalt, der vor das Okular gesetzt und gedreht werden kann, so dass man damit die Sehweite in verschiedenen Meridianebenen gesondert prüfen kann. Natürlich muss dann das entfernte Objekt so ausgewählt werden, dass darin feine Linien vorkommen, deren Richtung wieder zur jeweiligen Lage des Okularspaltes senkrecht steht, damit an ihnen die Undeutlichkeit bei der geringsten Abweichung von der punktuellen Vereinigung der wirksamen Büschel auf der Netzhaut bemerkbar wird.

Der Grad des Astigmatismus kann noch auf einem andern Wege ermittelt werden, der, so verschieden er von dem soeben beschriebenen auch erscheint, doch zu demselben Ziele, d. h. im bestimmten Falle zu demselben Zahlwerth führen muss. Denken wir uns ein Strahlenbüschel durch einen Okularspalt aus dem Bündel ausgeschnitten in der Meridianebene der vorderen Brennlinie und die Retina des Auges so gelegen, dass sie diese Brennlinie aufnimmt. Jetzt ist leicht zu sehen, dass man durch eine vor das Auge in richtige Lage gesetzte convexe Cylinderlinse von geeigneter Krümmung die Divergenz des einfallenden Büschels so weit vermindern kann, dass sich seine Strahlen genau in der Netzhaut schneiden, wo sie ohne die Cylinderlinse noch auf der Ausdehnung der vorderen Brennlinie zerstreut waren. Unter einer Cylinderlinse versteht man ein Glasstück, welches begrenzt ist von zwei Theilen zweier Cylindermäntel deren Axen parallel sind aber nicht zusammenfallen. Einer der Cylindermäntel kann auch eine Ebene sein. Man unterscheidet wie bei Kugellinsen convexe und concave, erstere wirken sammelnd mögen sie biconvex, planconvex oder concavconvex sein, letztere wirken zerstreuend mögen sie biconcav, planconcav oder convexconcav sein. Die Stellung der Cylinderlinse muss so gewählt sein, dass die unter sich parallelen Axen der beiden Cylinder, von welchen die Linsenflächen Abschnitte bilden, senkrecht stehen zur Ebene des untersuchten Augenmeridianes oder was dasselbe sagt, dass die Ebenen stärkster Krümmung der Linsenflächen jener Meridianebene parallel sind. Nimmt man jetzt den Okularschirm weg, dessen Spalt aus dem Bündel das Büschel ausschnitt (der überhaupt nur zur Erleichterung der Vorstellungen hinzugedacht war), so werden sich offenbar sowohl die in der Ebene der vorderen Brennlinie als die in der Ebene der hinteren Brennlinie fortgepflanzten Strahlen auf der Netzhaut punktuell vereinigen. Die letzteren Strahlen nämlich thaten es der gemachten Voraussetzung nach schon ohne Einschiebung der Linse. Ihr Gang wird aber durch dieselbe nicht wesentlich beeinflusst da sie bei der gedachten Lage durch dieselbe hindurchgehen müssen wie durch eine planparallele Glasplatte. Ist nun das Bündel nur überhaupt sehr dünn, wie bei allen unsern dioptrischen Betrachtungen immer vorausgesetzt wird, so werden auch die anderen Strahlen desselben in demselben Punkte vereinigt und werden wir also auf der Netzhaut ein sehr annähernd punktuelles Bild haben. Der Astigmatismus wird „durch die Cylinderlinse korrigirt sein". Ebenso wie man durch eine convexe Cy-

linderlinse den Astigmatismus so korrigiren kann, dass die punktuelle Vereinigung im Mittelpunkt der vorderen Brennlinie stattfindet, kann man ihn auch durch eine concave Cylinderlinse derart korrigiren, dass die sämmtlichen Strahlen des Bündels im Mittelpunkte der hinteren Brennlinie vereinigt werden. Natürlich muss alsdann die Axenrichtung der Cylinderflächen der Linse senkrecht auf dem Meridiane stärkster Brechung d. h. also auf der Richtung der hinteren Brennlinie stehen.

Ist das zu prüfende Auge mehr oder weniger myopisch, so kann man aus einer hinlänglich grossen Auswahl von concaven Cylinderlinsen leicht diejenige herausfinden, welche den Astigmatismus gerade korrigirt. Man braucht nur an der Ferngrenze des Sehens dem Auge eine Sternfigur darzubieten und ihm dann die verschiedenen concaven Cylinderlinsen in der geeigneten Lage vorzusetzen, die man ja nach vorausgegangener Ermittelung des Meridianes stärkster Brechung von vornherein bestimmen kann. Es wird bald diejenige gefunden sein, durch welche alle Linien der Sternfigur mit gleicher Deutlichkeit gesehen werden. Diese muss offenbar die Eigenschaft haben, dass sie die Divergenz des auf den Meridian stärkster Brechung fallenden Büschels soweit vermehrt, dass es nunmehr auch erst da zur Vereinigung kommt, wo ohne und mit Cylinderlinse die Strahlen des auf den Meridian schwächster Brechung fallenden Büschels vereinigt werden, welcher Punkt in die Retina fällt, wenn sich die Objektpunkte an der Ferngrenze des Sehens befinden.

Man kann nun bei einer Cylinderlinse auch von einer Brennweite reden, wenn man darunter versteht die Entfernung des Punktes, wo sich die Strahlen eines Büschels durchschneiden, das in einer zur Axenrichtung der Cylinderflächen senkrechten Ebene fortgepflanzt wird und vor der Brechung aus parallelen Strahlen bestand. Dieser Brennweite ist wie bei einer Kugellinse im Falle der Convexität ein positiver im Falle der Concavität ein negativer Werth beizulegen.

Hat man die den Astigmatismus korrigirende Cylinderlinse, mag die Correktion durch eine convexe oder durch eine concave bewerkstelligt sein, gefunden, so ist der reciproke Werth ihrer Brennweite, der unter allen Umständen positiv zu nehmen ist, das Maass des Astigmatismus. Dass dies Maass mit dem zuerst definirten numerisch übereinstimmen muss, ist leicht zu sehen. In der That sei a die deutliche Sehweite für den Meridian stärkster Brechung und b die für den Meridian schwächster Brechung, so dass also $a < b$ wäre, dann hätten wir den Grad des Astigmatismus nach der ersten Bestimmungsweise zu setzen

$$= \frac{1}{a} - \frac{1}{b}.$$

Nun würde aber die negative Brennweite einer zerstreuenden Cylinderlinse offenbar

$$= \frac{b\,a}{a-b}$$

sein müssen wenn sie in richtiger Lage vor das Auge gebracht einem aus der Entfernung b kommenden auf den Meridian stärkster Brechung fallenden Büschel denjenigen Divergenzgrad beibringen sollte, dass es ebenfalls erst da vereinigt wird, wo ein auf den Meridian schwächster Brechung fallendes Büschel vereinigt wird. Dieser Divergenzgrad müsste

nämlich derjenige sein, welcher ein von der Entfernung a ausgegangenes Büschel besitzt. Auf eine Cylinderlinse von dieser negativen Brennweite würde also die Wahl des geprüften Auges fallen um den Astigmatismus zu korrigiren und der reciproke Werth ihrer Brennweite

$$= \frac{a-b}{ab}$$

positiv genommen d. h.

$$\frac{b-a}{ab} \text{ wäre } = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$$

d. h. gleich dem auf die andere Art bestimmten Maasse des Astigmatismus.

Eine ganz ähnliche Schlussweise führt zu der Einsicht, dass auch bei Korrektion mit convexer Cylinderlinse der reciproke Werth ihrer Brennweite den Grad des Astigmatismus angiebt.

In der Tabelle S. 106 ist in der vorletzten Spalte der Grad des Astigmatismus der einzelnen Augen numerisch angegeben.

Nach den Erfahrungen der Augenärzte bringt der Astigmatismus wenn er den numerischen Werth von $^1/_{40}$ nicht erreicht keinerlei Störung im gewöhnlichen Sehakte hervor und kann als normal gelten. Ueberschreitet er dagegen diesen Werth, so veranlasst er auch beim gewöhnlichen Sehen Störungen. Ist er dabei ganz regelmässig, so können seine Folgen durch Vorsetzen einer geeigneten Cylinderlinse leicht beseitigt werden. Eine ausführliche Besprechung des hochgradigen Astigmatismus ist Gegenstand der Pathologie des Auges und kann hier unterbleiben.

Es kann jetzt noch die Frage aufgeworfen werden, wie im Innern des Bereiches des Akkommodationsspatiums das Auge instinktiv eingerichtet wird. Hier ist es nämlich offenbar an sich möglich einen beliebigen Theil der Brennstrecke mit der Netzhaut zusammenfallen zu machen. Es ist zu vermuthen, dass man beim einzelnen Sehakte vielleicht mit dem Akkommodationszustande hin- und herschwankt und bei demjenigen stehen bleibt, der das günstigste Resultat für die Deutlichkeit ergiebt. Je nach der Gestalt des zu sehenden Objektes kann dies ein verschiedener sein. Gilt es z. B. im Objekte vorwiegend parallele Linien zu erkennen und stimmt ihre Richtung mit derjenigen der hinteren Brennlinien überein, so wird eine Einstellung am günstigsten sein, bei welcher die hinteren Brennlinien der Strahlenbündel in die Netzhaut fallen, und umgekehrt. Man bemerkt oft auch, dass jemand, der einen fernen Gegenstand mit dem Auge recht genau untersuchen will, den Kopf hin- und herneigt. Offenbar hat dies den Zweck, bald diese bald jene Linien des Objektes mit der Richtung derjenigen Brennlinien in Uebereinstimmung zu bringen, welche gerade in die Retina fallen.

III. Unregelmässigkeiten des brechenden Apparates.

Ausser der im vorigen § behandelten zeigt der brechende Apparat des Auges noch zahlreiche unregelmässige Abweichungen von einem centrirten Systeme sphärischer Trennungsflächen zwischen homogenen brechenden Medien. Sämmtliche Medien des Auges sind nämlich keineswegs ganz gleichartige durchsichtige Körper. Dies ist schon darum nicht möglich, weil sie mit Ausnahme der wässrigen Feuchtigkeit „Gewebe“ sind, d. h. Körper, die aus ursprünglich getrennten Theilen zusammengefügt sind. Es kann natürlich nicht erwartet werden, dass diese Theile und die Tränkungsflüssigkeit zwischen ihnen absolut gleichen Brechungsindex besitzen. Sowie aber dies nicht der Fall ist, muss an den Grenzen der Gewebselemente Reflexion und Lichtzerstreuung stattfinden. Dass dem wirklich so ist, gewahrt man, wenn man einen starken Lichtkegel ins Auge sendet. Sofort wird der beleuchtete Theil der Hornhaut und der Linse sichtbar, d. h. sendet unregelmässig zerstreutes Licht von jedem Punkte aus. Dies beweist, dass ein Strahl nicht lediglich auf dem Wege regelmässiger Brechung durchgeht resp. zum Theil an der Grenze des ganzen Mediums regelmässig zurückgeworfen wird.

Das unregelmässig zerstreute Licht muss zum Theil auch zur Retina gelangen und dieselbe mit einem mehr oder weniger gleichmässigen Lichtnebel überziehen, aus welchem sich die der regelmässigen Brechung ihren Ursprung verdankenden Bilder hervorheben. Dieser allgemeine Lichtnebel stört indessen den gewöhnlichen Sehakt durchaus nicht, weil er die Helligkeitsabstufungen der deutlichen Bilder nur sehr wenig im Sinne einer Ausgleichung der Unterschiede beeinflusst. Für gewöhnlich beachtet man nicht einmal das Vorhandensein desselben, so leicht es auch zu bemerken ist. Man braucht nur Abends in einem beleuchteten Zimmer die von der Lampenflamme direkt ins Auge gelangenden Strahlen abzublenden, sogleich wird man bemerken, dass irgend ein dunkler Winkel viel schwärzer erscheint, und dass darin Helligkeitsunterschiede wahrnehmbar werden, die vorher unmerklich waren, weil sie verwischt wurden durch den Lichtnebel, welcher von den mit direktem Lampenlicht beleuchteten Theilen der brechenden Medien ausging.

Ausser diesen überall ziemlich gleichmässig im Auge verbreiteten Ursachen der Lichtzerstreuung kommen aber noch gröbere Unregelmässigkeiten vor, die zu besonderen Erscheinungen Veranlassung geben. Bei passender Einstellung des Auges werden sich natürlich diese Unregelmässigkeiten ebensowenig bemerklich machen wie die

gleichmässige Trübung der brechenden Medien. Jeder Strahl eines Bündels nämlich, welcher auf eine gröbere Unregelmässigkeit trifft, wird zurückgeworfen absorbirt oder seitwärts gebrochen, fällt also aus dem Bündel aus. Vereinigen sich nun die übrigen regelmässig weitergehenden Strahlen auf einen Punkt der Netzhaut, so wird man nichts bemerken. Nur wenn die Unregelmässigkeiten ihren Sitz ganz hinten im Glaskörper haben, da wo die zu den Bildpunkten konvergirenden Strahlenbündel schon überaus dünn sind, können sie ganze solche Bündel abfangen und Lücken oder Schatten im deutlichen Bilde erzeugen, die unter dem Namen der „fliegenden Mücken“ bekannt sind.

Sowie aber die Einstellung des Auges fehlerhaft ist, so dass jedem leuchtenden Punkte ein Zerstreuungskreis auf der Netzhaut entspricht, so machen sich die gröberen Unregelmässigkeiten durch Schattenwerfen geltend. Mag nämlich der Zerstreuungskreis dadurch entstehen, dass der Bildpunkt vor oder hinter die Retina fällt, so werden in ihm ebenso viele dunklere Stellen sein als gröbere Unregelmässigkeiten auf dem Wege des Strahlenbündels lagen. In der That sieht auch der Zerstreuungskreis eines einzelnen leuchtenden Punktes im Auge durchaus nicht so aus wie eine gleichmässig beleuchtete runde Scheibe, sondern man sieht innerhalb der im allgemeinen kreisförmigen oder wegen des Astigmatismus etwas ovalen Umgrenzungslinie hellere und dunklere Stellen in unregelmässigem Wechsel nebeneinander. Ein kurzsichtiges Auge kann sich diesen Anblick leicht verschaffen durch Anblicken eines hellen Sternes oder einer fernen Flamme z. B. einer Strassenlaterne in dunkler Nacht. Ein Normalsichtiger müsste eine convexe Linse dabei vor das Auge nehmen Um einen einzelnen leuchtenden Punkt zu nahe vor dem Auge zu haben, braucht man nur ein feines Löchelchen in einem schwarzen Kartenblatt einige Centimeter vom Auge entfernt vor einen hellen Hintergrund zu bringen. Hier zeigt sich wesentlich dieselbe Erscheinung.

Regelmässig hat in der Zerstreuungsfigur die Lichtvertheilung einen mehr oder weniger ausgesprochen sternförmigen Charakter. Dies hängt ganz entschieden mit dem sternförmigen Bau der Linse zusammen, doch ist eine strenge Erklärung der Einzelheiten noch nicht gegeben. Ebenso dürfte die nicht zu bezweifelnde Thatsache noch der Erklärung warten, dass immer gegen den Rand des Zerstreuungskreises die durchschnittliche Helligkeit geringer ist als in der Mitte, wenn der Zerstreuungskreis durch zu grosse Ferne des leuchtenden Punktes bedingt ist.

Aus der beschriebenen ungleichmässigen Lichtvertheilung im Zer-

streuungsfelde erklärt sich ferner noch leicht die Thatsache, dass linienförmige Objekte bei unpassender Einrichtung des Auges für ihre Entfernung meist scheinbar mehrfach gesehen werden. In der That denken wir uns an Stelle des einzelnen leuchtenden Punktes eine leuchtende Gerade, so wird sich auf der Netzhaut die Zerstreuungsfigur sovielemale in stetiger Folge nebeneinanderlegen als die Gerade Punkte enthält. Die auffallend hellen Stellen der Zerstreuungsfigur werden sich dabei zu ebensovielen Bildern der Linie aneinanderreihen, zwischen denen die dunkleren Stellen der Zerstreuungsfigur wegen des Contrastes ganz übersehen werden. Die Linie wird also mehrfach erscheinen. Dasselbe wird auch noch stattfinden, wenn das Objekt nicht eine unendlich feine Linie ist, sondern ein Flächenstreif, dessen Breite nur so klein ist, dass ihr genaues Bild auf der Netzhaut schmäler wäre als die Zerstreuungsfigur eines Punktes. Aus diesem Grunde sehen Kurzsichtige stets den Mond, besonders den sichelförmigen, scheinbar mehrfach.

Die Lage und Grösse der Schatten von gröberen Unregelmässigkeiten auf der Retina wird der wirklichen Lage und Grösse derselben um so genauer entsprechen, je annähernder parallelstrahlig das im Auge fortgepflanzte Bündel ist. Auf diese Bemerkung gründet sich eine Methode, kleine Körperchen im Auge zu untersuchen oder wie man sich ausdrückt „entoptisch wahrzunehmen“.

Man bringe einen leuchtenden Punkt in die vordere Brennebene des Auges, also etwa 12 mm. vor die Hornhaut, dann wird das von ihm ausgesandte Strahlenbündel den Glaskörper ziemlich parallelstrahlig durchlaufen und auf der Netzhaut eine Zerstreuungsfigur beleuchten, welche der Pupille ähnlich und ein wenig grösser als sie ist. Der leuchtende Punkt ist am leichtesten herzustellen, indem man in ein schwarzes Kartenblatt mit einer Nadel ein feines Löchelchen sticht und das Blatt senkrecht zur Axe des Auges in etwa 12 mm. Entfernung von der Hornhaut hält vor einem ausgedehnten gleichmässig leuchtenden Hintergrund. Auch das von einer Sammellinse gelieferte physische Bild eines stark leuchtenden Punktes kann zweckmässig verwendet werden. Kleine Bewegungen des Objektpunktes in der vorderen Brennebene lassen sich durch Verschiebungen des Kartenblattes bei der ersten Versuchsweise leicht ausführen. Solche haben den Erfolg, dass das parallelstrahlige Bündel abwechselnd in verschiedener Richtung den Glaskörper durchläuft und verschiedene Stellen der Netzhaut trifft. Dabei treten dann auch oft Schatten von zwei Körperchen auseinander, welche bei der ersten Stellung des Lichtpunktes zusammenfielen, weil sie in der ersten Richtung des Strahlenbündels genau hintereinander liegen. Auch verschieben sich

die Schatten der Körperchen relativ gegen den Rand des Zerstreuungsfeldes. Aus dieser Verschiebung kann man dann beurtheilen, ob das schattenwerfende Körperchen vor oder hinter der Pupillenebene seinen Sitz hat. Wie ein Blick auf die nebenstehende Fig. 28 zeigt, wird bei einer Verschiebung des Lichtpunktes in einer gewissen Richtung der Schatten eines Körpers vor der Pupille relativ im Zerstreuungskreise in entgegengesetzter Richtung verschoben. Der Schatten eines Körpers hinter der Pupillarebene wird in gleichem Sinne verschoben und der Schatten eines Körpers in der Pupillarebene behält seine relative Stellung im Zerstreuungskreise. Verschiebt man z. B. den Lichtpunkt nach unten, so rücken die Schatten der drei Körper v, i, h, die ursprünglich (unter A) dicht aneinander lagen auseinander, wie es unter B, siehe $v, i, h,$ gezeichnet ist, und zwar ist $v,$ dem oberen Rande des Zerstreuungskreises r_o dagegen $h,$ dem unteren Rande r_u näher gerückt, während der Schatten des in der Pupillarebene gelegenen Körpers i nach wie vor in der Mitte des Zerstreuungskreises liegt. Bei der subjektiven Auffassung dieser Schatten muss man natürlich beachten, dass die Empfindungen verkehrt nach aussen projicirt werden, so dass dem oberen Rand des Zerstreuungskreises der untere Rand eines scheinbaren Objektes entspricht und umgekehrt.

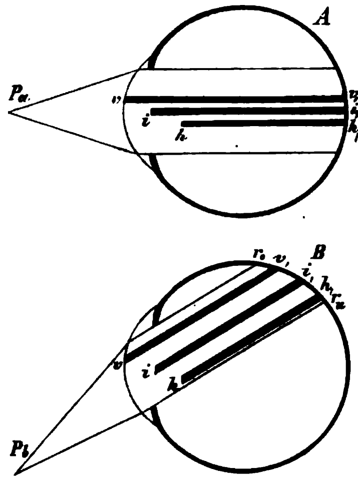


Fig. 28.

Unter den verschiedenen Körperchen, deren Schatten sich bei der entoptischen Beobachtung gewöhnlich zeigen, sind folgende Arten zu unterscheiden.

1. Tröpfchen auf der vorderen Hornhautfläche von Schleim oder dem Sekrete der Meibom'schen Drüsen. Ihre Schatten zeigen sich meist als dunkle Flecken mit heller Mitte und leicht daran kenntlich, dass sie beim Blinzeln verschwinden oder Lage und Gestalt verändern.

2. Perlflecke von grösserer Beharrlichkeit. Listing hält sie für die Schatten von Schleimklümpchen in der Flüssigkeit zwischen Linsenkörper und Linsenkapsel.

3. Eine matte sternartige Zeichnung vom strahligen Bau der Linse herrührend.

4. Verschiedene unregelmässige Gebilde fadenartiger und perl-

schnurartiger Gestalt. Sie sind die Schatten von Unregelmässigkeiten im Glaskörper, die meist beweglich sind.

Endlich ist zu erwähnen, dass das ganze entoptische Gesichtsfeld wie bestäubt erscheint, was offenbar von den feinsten überall mehr gleichmässig verbreiteten Unregelmässigkeiten der brechenden Medien herrührt.

Unter gewissen Umständen taucht bei der entoptischen Beobachtung noch ein sehr bemerkenswerthes Objekt auf, nämlich die Verzweigung der arteria centralis retinae. Diese liegt bekanntlich in der an den Glaskörper grenzenden Schicht der Netzhaut. Wenn also ihre Schatten wahrnehmbar sind, so ist dies ein direkter thatsächlicher Beweis dafür, dass die durch Licht reizbaren Elemente der Netzhaut in einer der äusseren Schichten dieser Membran zu suchen sind, auf welche eben die Gefässe Schatten werfen können. Lägen die reizbaren Elemente der Netzhaut in derselben Schicht wie die Gefässe, so müssten diesen ebenso viele niemals mit Empfindungsinhalt erfüllbare Lücken im Gesichtsfelde entsprechen, da sie einer entsprechenden Anzahl reizbarer Elemente den Platz wegnähmen und nicht bloss einen Theil des ihnen sonst zukommenden Reizquantums, wie es die Wahrnehmung eines Schattens erfordert.

Die Gefässschatten tauchen nun im entoptischen Gesichtsfelde dann auf, wenn man den leuchtenden Punkt in der vorderen Brennebene ein wenig schnell hin- und herbewegt. Bewegt man den Punkt auf und ab, so erscheinen nur Gefässzweige, die nahezu wagrecht verlaufen. Bewegt man ihn von rechts nach links, so erscheinen nur fast senkrechte Zweige. Die Stelle des direkten Sehens ist stets frei von Gefässschatten, wie es ihre Gefässlosigkeit erwarten lässt.

Die Gefässschatten sind bei dieser Beobachtungsart sehr zart gezeichnet und wie gesagt nur bruchstückweise zu erkennen. Es ist daher von Interesse, noch zwei andere Methoden kennen zu lernen, nach denen man ein weit vollständigeres Bild von der Gefässverzweigung im eigenen Auge bekommt. Die erste dieser Methoden besteht darin, dass man mittels einer kleinen Sammellinse ein möglichst kleines Sonnenbildchen auf einem Punkte der Sklerotika entwirft, welcher möglichst weit vom Hornhautrande abliegt, während man nach einem gleichmässig dunklen Hintergrunde blickt. Dieser überzieht sich dann scheinbar mit einem bronzefarbenen Schleier in welchem deutlich der ganze Gefässbaum der vasa centralia retinae dunkel gezeichnet ist, die Stelle des deutlichsten Sehens erscheint auch hier natürlich gefässlos und hat ein Ansehen, welches Helmholtz mit chagrinirtem Leder vergleicht, auch zeigt sie einen stär

keren Glanz. Behält das Sonnenbildchen seine Lage dauernd bei, so wird allmählich die Erscheinung matter, um zuletzt ganz zu verschwinden. Jede kleine Bewegung des Sonnenbildchens ruft sofort die Erscheinung wieder hervor und es bewegt sich dabei der Gefässbaum in gleichem Sinne mit dem Sonnenbildchen, der glänzendere Fleck aber bewegt sich ein wenig in entgegengesetzter Richtung. Die Erscheinung beruht darauf, dass das Sonnenbildchen auf der Sklerotika diese gleichsam selbstleuchtend macht. Das von diesem Punkte der Sklerotika ins Innere des Auges gesandte Licht wird nun durch die pigmentirte Chorioidea nicht ganz abgehalten, besonders wenn der beleuchtete Punkt noch ausserhalb der Ciliarfortsätze liegt, wo die Pigmentanhäufung nicht so gross ist. Da nun also der ganze Glaskörper von einem Punkte aus durchstrahlt ist, so werden die Gefässe grosse Schatten in den äusseren Schichten der Netzhaut werfen und da sie auf derselben ungewohnte Stellen fallen, so werden sie bemerkbar. Dass sich die als scheinbare Objekte nach aussen projicirten Schatten mit einer Bewegung des Lichtpunktes gleichsinnig bewegen ist selbstverständlich, da die Schatten selbst sich in entgegengesetztem Sinne bewegen müssen. Warum sich die wie chagrinirtes Leder aussehende Figur im gelben Fleck der Netzhaut umgekehrt bewegt, ist noch nicht erklärt, es deutet aber jedesfalls auf eine andere Entstehungsart dieser Figur.

Die zweite Methode zur Darstellung der Aderfigur besteht in folgendem: Während man auf einen möglichst dunklen Hintergrund blickt, hält man weit seitlich von der Augenaxe eine stark leuchtende Flamme. Der dunkele Hintergrund scheint sich auch hier mit einem gelblichen Lichtnebel zu überziehen, aus welchem bei kleinen Bewegungen der Flamme die Schatten der Gefässverzweigungen schwarz gezeichnet auftauchen.

Der Stelle des deutlichsten Sehens entspricht bei dem Versuche eine hellere Stelle auf einer Seite von einem halbmondförmigen Schatten eingefasst.

Bei Bewegungen der Flamme bewegen sich die Schatten der Gefässe im Gesichtsfelde im gleichen Sinne, wenn die Bewegung in einer Meridianebene stattfindet. Geht dagegen die Bewegung senkrecht zu einer Meridianebene vor sich, so bewegen sich die Schatten entgegengesetzt wie die Flamme.

Die soeben beschriebenen Erscheinungen sind zum grössten Theil schon von PURKINJE beobachtet, aber erst viel später ist von H. MÜLLER die richtige Erklärung gegeben. Sie beruht darauf, dass ein sehr helles Netzhautbildchen bei sonst sehr dunkelem Gesichts-

felde als eine Lichtquelle anzusehen ist, welche nach allen Seiten Strahlen aussendet. Dem entspricht der allgemeine Lichtnebel, welcher das dunkele Gesichtsfeld überzieht. Sei beispielsweise *a* in Fig. 29 die Flamme, dann wird ihr Netzhautbild *b* Strahlen aussenden, welche den ganzen Augenhintergrund beleuchten, befindet sich nun bei *v* ein Gefässquerschnitt, so wird der von *b* nach *c* gehende Strahl abgefangen und der an die ungewohnte Stelle bei *c* fallende Schatten des Gefässes wird bemerkt und im Gesichtsfelde in der Richtung nach *d* projicirt. Bewegt sich die Flamme von *a* nach *α* so rückt das Netzhautbild von *b* nach *β*, der Schatten von *c* nach *γ*, die Netzhautstelle *γ* setzt aber die Ursache ihrer Erregung in der Richtung *δ* nach aussen.

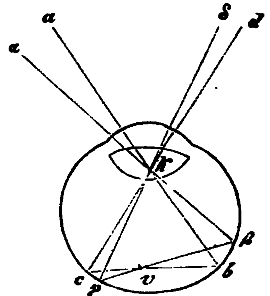


Fig. 29.

Das scheinbare Schattenobjekt hat sich also in gleichem Sinne von rechts nach links wie die Lichtflamme bewegt. Anders muss es sich bei einer Bewegung der Flamme senkrecht zur Meridianebene verhalten. Geht z. B. die Flamme vom Punkte *a* weg hinter die Ebene des Papieres, so geht das Bild von *b* weg vor dieselbe, der Schatten *c* geht dahinter und endlich das scheinbare Objekt *d* vor die Ebene des Papieres, macht also eine Bewegung in umgekehrtem Sinne wie die Flamme.

Den halbmondförmigen Schatten in der Gegend des deutlichsten Sehens erklärt Müller für den Schatten, welchen der dem hellen Netzhautbildchen zugewandte Rand der Netzhautgrube in diese hinein werfen muss.

Derselbe Forscher hat noch versucht die Bewegungen der Gefässschatten zu benutzen, um zu bestimmen, wie weit hinter der gefässführenden Schicht diejenige Schicht der Netzhaut liegt, welche die durch das Licht gereizten Elemente enthält. Es ist nämlich klar, dass unter sonst gleichen Umständen die Bewegung der Schatten um so grösser sein muss, je weiter vor der reizbaren Schicht die Gefässe liegen und wenn man also die Verschiebung der Schatten misst bei einer gleichfalls gemessenen Verschiebung der Lichtquelle, so kann man die Entfernung der Gefässe von der reizbaren Schicht berechnen. H. Müller benutzte zur Berechnung die erst beschriebene Beobachtungsart der Gefässschatten, wo als Lichtquelle ein auf der Sklera entworfenes Sonnenbildchen diente. Eine Verschiebung desselben wurde mit dem Zirkel direkt gemessen und gleichzeitig die Verschiebung der scheinbaren Schattenobjekte beobachtet. Auf Grund leicht herzustellender Construktionen fand Müller, dass die reizbare

Schicht der Netzhaut etwa 0,2 bis 0,3 mm. hinter der gefässführenden liegen müsse. Die reizbare Schicht der Netzhaut ist hiernach jedesfalls eine der äussersten. Es werden sich aus der Lehre von der Lichtempfindung später noch Gründe ergeben, aus welchen man die Eigenschaft der Reizbarkeit durch Licht der äussersten Schicht der Netzhaut, nämlich der Stäbchen- und Zapfenschicht zuschreiben muss.

Dass beim gewöhnlichen Sehakte die Schatten der Gefässe nicht auffallen, hat seinen Grund theils darin, dass hierbei keine eigentlichen Kernschatten in der reizbaren Netzhautschicht entstehen. Ist nämlich das ganze Sehfeld mit mehr oder weniger hellen Objekten erfüllt, so wirkt die Pupille gleichsam wie eine leuchtende Scheibe. Da nun die stärksten Zweige der v. centralis retinae nur 0,038 mm. dick sein sollen, so würde ihr Kernschatten — eine 4 mm. weite Pupille als Lichtquelle gedacht — nur etwa 0,17 mm. lang sein, also noch nicht bis in die reizbare Stäbchenschichte reichen. Die verwaschenen Halbschatten werden aber unbemerkt bleiben, weil sie sich beständig auf denselben Netzhautelementen halten und diese daher durch die relative Schonung an Reizbarkeit gewinnen, was ihnen an Reizstärke durch die Beschattung entgeht.

Wenn diese längst allgemein anerkannte Erklärung für die Unmerklichkeit der Gefässschatten beim gewöhnlichen Sehen richtig ist, so müssen dieselben bei erstem Aufschlag der Augen auf jedem hellen Hintergrund erscheinen[1], wenn das Auge längere Zeit geschlossen war, so dass alle Elemente der Netzhaut eine gleiche Reizbarkeit erlangt haben. Dies kann man in der That sehr leicht beobachten. Ich sehe einige Gefässschatten beim ersten Augenaufschlag schon aufblitzen, wenn ich das Auge nur eine einzige Minute vorher geschlossen gehalten habe. Bei dieser Art die Gefässschatten sichtbar zu machen tritt aber etwas noch auffälliger hervor als bei jeder anderen, was mir zu beweisen scheint, dass die Unsichtbarkeit der Gefässschatten im gewöhnlichen Sehakte doch noch andere Gründe haben muss als die gemeiniglich angeführten, dass nämlich die Reizbarkeit der ausserhalb der Gefässschatten liegenden Netzhautelemente durch die stärkere Bestrahlung alsbald abgestumpft würde. Es müssten nämlich in Folge dieses Umstandes die beim ersten Augenaufschlag erscheinenden Gefässschatten dadurch verschwinden, dass die Helligkeit des Grundes zu dem Grade herabsänke der in den Schatten herrscht. Faktisch verschwinden aber die Schatten indem **ihre** Helligkeit auf den Grad der Helligkeit des Grundes rasch ansteigt. Es muss also ohne Zweifel noch ein bisher übersehener wirksamer Umstand aufgesucht werden.

1 HERMANN, Grundr. d. Physiol. 5. Aufl. S. 366.

SIEBENTES CAPITEL.

Das vom Augenhintergrunde zurückkehrende Licht. (Augenspiegel).

Schon im vorigen Abschnitte hat sich gezeigt, dass das auf den Augenhintergrund fallende Licht keineswegs vom Pigmente der Chorioidea ganz verschluckt wird, da wir ein Flammenbildchen auf der Netzhaut als eine Lichtquelle wirken sahen, die den ganzen übrigen Augenhintergrund mit einem sehr merklichen Lichtschimmer überzieht. In der That giebt es auch gar kein schwarzes Pigment, welches das darauf fallende Licht vollständig absorbirt. Es muss also stets von einem durch helle Objekte stark beleuchteten Augenhintergrund eine sehr erhebliche Lichtmenge zurückstrahlen und es muss ohne Zweifel von diesem Lichte auch ein entsprechender Theil seinen Weg durch die Pupille wieder nach aussen nehmen. Wenn man dies bedenkt, könnte es paradox erscheinen, dass gleichwohl die Pupille jedes fremden Auges absolut schwarz erscheint, selbst wenn der Hintergrund dieses Auges ausgedehnte Bilder sehr heller Objekte enthält. Stellt man sich aber den Gang der vom Augenhintergrund zurückkehrenden Strahlen genauer vor, so ergiebt sich der Grund für die tiefe Schwärze der Pupille. In der That wird ja jedes von einem Punkte des Augengrundes ausgehende Strahlenbündel, welches die Pupille durchsetzt nach dem bekannten Gesetze der Reciprocität beim Strahlengange hin und her durch die brechenden Flächen in ein homocentrisches Strahlenbündel verwandelt, dessen Vereinigungspunkt auf dem durch den leuchtend gedachten Punkt des Augengrundes gezogenen Richtungsstrahl liegt, und zwar in der Entfernung für welche das Auge eingestellt ist. Bringt nun an diesen Ort der Beobachter sein Auge um das Strahlenbündel hineinfallen zu lassen, so kann ein solches unmöglich existiren, da sich ja an diesem Orte eine starke Lichtquelle befinden muss, wenn der betreffende Punkt im Hintergrund des beobachteten Auges stark beleuchtet und mithin selbst leuchtend sein soll. Man sieht also, dass sicher wenigstens in dem Falle, wo das beobachtete Auge auf die Entfernung eingerichtet ist, in welcher sich das beobachtende Auge befindet, diesem letzteren die Pupille des beobachteten absolut schwarz erscheinen muss aus dem einfachen Grunde, weil nur von solchen Punkten des be-

obachteten Augenhintergrundes Licht durch dessen Pupille ins beobachtende Auge gelangen könnte, die das Bild von der Pupille des letzteren aufnehmen, welches Bild aber eben dunkel ist. Auf die Lichtabsorption im Hintergrund des beobachteten Auges kommt es dabei gar nicht an. Von der Richtigkeit dieser Ueberlegung kann man sich leicht überzeugen, wenn man auf die Blendung des Okulares eines Fernrohres oder Mikroskopes ein Blättchen Papier legt, das farbig oder sogar weiss sein darf. Immer wird die Oeffnung der Okularlinse von einiger Entfernung aus gesehen schwarz erscheinen, wenn man dafür sorgt, dass nur durch diese und nicht von der anderen Seite des Okularrohres her Licht auf das Blättchen fallen kann. Man wird nämlich auch hier nur von solchen Punkten des Blättchens Licht erhalten können, die im Bereiche des (freilich nicht ganz scharfen) Bildes liegen, das die Okularlinse von der Pupille des eigenen Auges auf dem Blättchen entwirft und diese Stelle desselben ist eben unbeleuchtet.

Der soeben gegebenen Erklärung von der Dunkelheit einer beobachteten Pupille scheint die Thatsache zu widersprechen, dass die Pupille eines albinotischen Menschen oder Thieres nicht schwarz, sondern röthlich erscheint. Hiergegen hat aber Donders einen sehr schlagenden Versuch geltend gemacht, der darin besteht, dass man die Sklerotica und Cornea des albinotischen Auges mit einem undurchsichtigen Schirm bedeckt, in welchem ein rundes Loch etwas kleiner als die Pupille eingeschnitten ist, das gleichsam eine künstliche Pupille bildet. Diese erscheint dann ebenso schwarz wie die Pupille eines pigmentirten Auges. Dieser Versuch beweist, dass der Hintergrund des albinotischen Auges keineswegs desswegen hell erscheint weil ihm selbst das Pigment fehlt, sondern weil die Iris und die angrenzenden Theile der Chorioidea wegen Pigmentmangels durchscheinend sind, so dass durch sie hindurch ein diffuser Lichtschimmer im ganzen Auge verbreitet wird, der auch die Stelle des Hintergrundes beleuchtet, welche das Bild des beobachtenden Auges aufnimmt.

Indem man das an die Spitze dieser Erörterung gestellte Princip schärfer fasst, kann man den Satz aussprechen: In die Pupille eines beobachtenden Auges können nur von solchen Punkten des Hintergrundes eines beobachteten Auges Strahlen gelangen, auf welche auch umgekehrt von Punkten jener Pupille Strahlen fallen können. Der Inbegriff aller dieser Punkte ist aber das Bild — im weiteren Sinne des Wortes — der Pupille des Beobachters auf dem Grunde des beobachteten Auges. Ist dies Bild ein Zerstreuungsbild, so kön-

nen sehr wohl einzelne Theile desselben mit Theilen der Zerstreuungsbilder anderer Gegenstände zusammenfallen. Wenn also das beobachtete Auge nicht für die Entfernung angepasst ist, in welcher sich die (scheinbare) Pupille des Beobachters befindet, so kann es unter günstigen Umständen Stellen im Hintergrunde jenes Auges geben, die einerseits von einer starken Lichtquelle wirklich Licht empfangen andererseits aber in die Pupille des Beobachters wirklich Licht senden. Dieser letztere wird alsdann die beobachtete Pupille nicht ganz schwarz, sondern mit einem matten röthlichen Schimmer erfüllt sehen. Am leichtesten kann man die erforderlichen Bedingungen folgendermaassen herstellen. Es sei *T* Fig. 30 ein stark myopisches Auge, die Myopie kann nöthigenfalls durch willkürliche Akkommodation hergestellt werden. In einer die Sehweite dieses Auges weit übertreffenden Entfernung stellt man nun eine Lichtflamme davor auf. Ein Punkt *L* derselben wird alsdann auf der Netzhaut von *T* einen Zerstreuungskreis beleuchten dessen Durchmesser $\lambda_1 \lambda_2$ ist. Das beobachtende Auge *N* stellt sich nun dicht neben *L* und blendet sich durch einen Schirm *S* den störenden Schein von *L* weg. Dem Mittelpunkt der Pupille von *N* wird auf der Netzhaut von *T* ein Zerstreuungskreis $\nu_1 \nu_2$ entsprechen, dem die Strecke $\nu_1 \lambda_2$ mit dem Zerstreuungskreis von *L* gemeinsam ist. Jeder Punkt dieser Strecke kann also von *L* Licht empfangen und solches nach *N* senden. Z. B. empfängt der Punkt ν_1 auf einem Wege zwischen den ausgezogenen Linien Licht von *L* und sendet einen Strahl nach *N* auf dem Wege der punktirten Linie. In der That sieht unter diesen Umständen der Beobachter bei *N* die Pupille von *T* schwach röthlich schimmernd, wie zuerst BRÜCKE bemerkt hat.

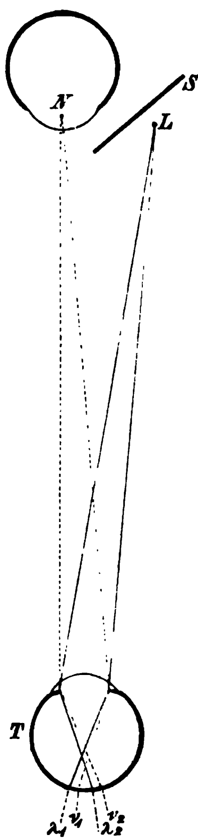


Fig 30.

Noch viel vollkommener und vom Anpassungszustand des beobachteten Auges ganz unabhängig kann man den Zweck erreichen, die Pupille leuchtend zu sehen durch einen sinnreichen Kunstgriff von HELMHOLTZ. Man stellt nämlich wie Fig. 31 im Grundriss andeutet zwischen das beobachtende Auge *B* und das beobachtete *C* eine planparallele Glasplatte *S* schräg auf. Sie macht als Spiegel wirkend von der Licht-

flamme A ein Bild a. Die Strahlen der Flamme fallen also in das Auge C so hinein als kämen sie von a her, welche Richtung dieselbe ist wie die von B her. Sie werden also jedesfalls auch die Netzhautpunkte in C beleuchten, welche dem Zerstreuungsbilde der Pupille von B entsprechen. Dies Auge wird demnach durch die Platte S hindurch die Pupille von C hell sehen. War einmal die Möglichkeit gegeben vom Hintergrunde eines Auges wirksame Lichtstrahlen in das eigene Auge zu leiten, so konnte man auch den Plan fassen, jenen Augenhintergrund deutlich zu sehen. Eine Vorrichtung, welche dies ermöglicht, nennt man einen „Augenspiegel". Die erste solche ist von HELMHOLTZ erfunden, welcher dadurch eine neue Aera der Augenheilkunde heraufgeführt hat.

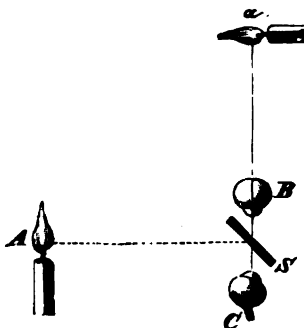


Fig. 31.

Stellt man sich die richtige Stelle vom Hintergrunde des beobachteten Auges irgendwie leuchtend gemacht vor, so kommt es um sie deutlich sichtbar zu machen nur noch darauf an, dass die von den einzelnen Punkten dieser Stelle ausgehenden Strahlenbündel nach ihrem Austritt aus dem Auge so gebrochen werden, dass ihre Strahlen oder deren Richtungen sich in Punkten schneiden, welche in der deutlichen Sehweite vom beobachtenden Auge liegen. Diesen Zweck kann man nun auf zwei Wegen zu erreichen suchen. Entweder man stellt das beobachtende Auge nahe an das beobachtete und sucht die aus dem letzteren hervortretenden Strahlenbündel (wenn sie es nicht schon sind) in divergente zu verwandeln, deren bloss virtuelle Schnittpunkte hinter dem beobachteten Auge in der deutlichen Sehweite des beobachtenden liegen. Oder zweitens man stellt das beobachtende Auge weiter entfernt vom beobachteten auf und bringt die aus diesem ausfahrenden Strahlenbündel sehr rasch zur reellen Convergenz, so dass die Schnittpunkte vom beobachtenden Auge in dessen deutlicher Sehweite liegen, das letztere kann dabei nöthigesfalls noch mit einer seine Sehweite verkürzenden Sammellinse versehen werden.

Jede dieser beiden Beobachtungsarten kann man kombiniren mit jeder der beiden Beleuchtungsarten, und erhält so 4 Grundformen des Augenspiegels, nämlich : 1. Beleuchtung mittels der durchsichtigen spiegelnden Platte, Beobachtung im virtuellen Bilde (die ursprüngliche Form des Augenspiegels von HELMHOLTZ). 2. Beleuchtung ebenso,

Beobachtung im reellen Bilde (Augenspiegel von Engelhard[1]). 3. Beleuchtung durch theilweise Deckung des Zerstreuungsbildes von der Pupille des Beobachters mit dem Zerstreuungsbilde von einer starken Lichtquelle im beobachteten Auge, Beobachtung im virtuellen Bilde (Augenspiegel von Donders und van Trigt, Coccius, Liebreich etc.). 4. Beleuchtung nach demselben Princip, Beobachtung im reellen Bilde (Augenspiegel von Ruete, Liebreich etc.).

Die erste dieser 4 Grundformen ist durch die schräge Glasplatte und die Lampenflamme in der Anordnung von Fig. 31 schon ganz vollständig gegeben, wenn das beobachtete und das beobachtende Auge beide emmetropisch sind. In der That in diesem Falle geht jedes von einem Netzhautpunkte des beobachteten Auges ausgesandte Strahlenbündel als parallelstrahliges aus demselben hervor und ein solches wird auf der Netzhaut des ebenfalls emmetropisch gedachten beobachtenden Auges in einem Punkte wieder vereinigt. Das letztere sieht demnach ohne alle weitere Hülfsmittel die beleuchteten Theile der beobachteten Netzhaut deutlich und zwar als ein scheinbar in unendlicher Ferne befindliches Objekt, in welchem oben, unten, rechts, links liegt was in Wirklichkeit ebenso liegt. Das beobachtende Auge sieht also ein aufrechtes virtuelles Bild der Netzhaut. Da es in unendlicher Ferne liegt ist es auch unendlich gross. Der Vergrösserungscoefficient ist demnach hier nach einem anderen Princip zu berechnen, wie weiter unten gezeigt werden soll.

Der Beobachter sieht auch dann ohne jede künstliche dioptrische Vorrichtung die Netzhaut eines dicht vor ihm befindlichen Auges deutlich, wenn das beobachtende Auge in ungefähr demselben Grade myopisch ist, in welchem das beobachtete hypermetropisch ist oder umgekehrt. In jedem andern Falle bedarf aber das beobachtende Auge noch eines künstlichen dioptrischen Apparates, um die beobachtete Netzhaut deutlich zu sehen, und zwar besteht derselbe einfach aus einer Konkavlinse, wenn beide Augen myopisch sind oder das eine wenigstens stärker myopisch ist als das andere hypermetropisch, mit einem Worte, wenn die Summe der Refractionswerthe beider Augen positiv ist. Um dies anschaulich zu machen, ist in Fig. 32 ein Meridianschnitt des beobachteten Auges bei A dargestellt, dasselbe sei auf die Entfernung des Punktes b, die wir selbst mit b bezeichnen wollen, eingestellt, dann wird das von einem Punkte a seiner Netzhaut ausgesandte Strahlenbündel nach b konvergirend austreten und würde auf der Netzhaut des für die Entfernung des Punktes

1 Engelhard, Eine neue Form des Augenspiegels. München 1878.

d (die selbst mit d in der Rechnung bezeichnet werden soll) eingerichtet gedachten beobachtenden Auges einen Zerstreuungskreis beleuchten. Soll nun dies sowie die von andern a benachbarten Netz-

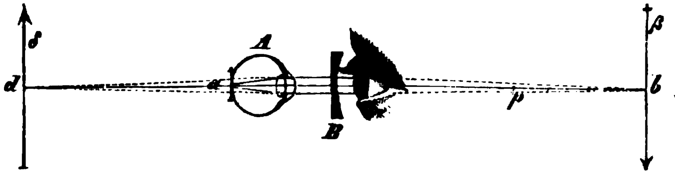


Fig. 32.

hautpunkten ausgesandten Strahlenbündel auf der Netzhaut des Beobachters punktuell vereinigt werden, so muss jedes dieser konvergenten Bündel in ein divergentes verwandelt werden und zwar von solcher Divergenz, als kämen sie aus der Entfernung d. Das kann aber eine Zerstreuungslinse B bewirken. Zu diesem Ende muss ihre (negative) Brennweite so gewählt sein, dass sie von dem virtuellen Objekte bei b ein virtuelles Bild bei d entwirft. Der Abstand des virtuellen Objektes bei b von der Linse ist aber $(b - e_1)$, wenn e_1 die Entfernung der Linse vom beobachteten Auge ist. Der gewünschte Abstand des virtuellen Bildes bei d von der Linse ist $d - e_2$, wenn e_2 die Entfernung zwischen der Linse und dem beobachtenden Auge ist. Eine Linse aber, welche von einem um $b - e_1$ von ihr abstehenden virtuellen Objekte ein um $d - e_2$ von ihr abstehendes virtuelles Bild machen soll, muss eine Brennweite x haben, die der Gleichung

$$-\frac{1}{b - e_1} - \frac{1}{d - e_2} = \frac{1}{x}$$

geneigt, woraus sich für x natürlich ein negativer Werth ergiebt, d. h. es ist eine Zerstreuungslinse erforderlich. Gewöhnlich sind b und d viel grösser als e_1 und e_2, so dass man diese Summanden in den Nennern ganz weglassen kann und sich x aus der einfacheren Gleichung

$$-\frac{1}{b} - \frac{1}{d} = \frac{1}{x}$$

berechnet. Diese kann in Worten ausgesprochen werden: der reciproke Werth der Brennweite der zur Beobachtung erforderlichen Zerstreuungslinse ist die negativ genommene Summe der beiden Brüche, welche die Refraktionszustände des beobachteten und des beobachtenden Auges messen. Kennt also der Beobachter seinen eigenen Refractionswerth und hat er empirisch die Linse herausgefunden, welche er zur Beobachtung eines bestimmten Auges nöthig hat, so braucht er nur vom positiv genommenen reciproken Werthe der Linsenbrennweite seinen eigenen Refraktionswerth abzuziehen,

um den Refraktionswerth des beobachteten Auges zu erhalten. Dies ist die S. 76 erwähnte Methode, den Refraktionswerth eines Auges ohne subjektive Sehprüfungen zu bestimmen.

Um die Vergrösserung bei dieser Art der Beobachtung numerisch darstellen zu können, muss man verabreden, was man darunter verstehen will, denn die Vergleichung der Abmessungen des virtuellen Bildes und des als Objekt dienenden Netzhautstückes hat kein Interesse, da jene Abmessungen mit der Sehweite des beobachtenden Auges bis ins Unendliche wachsen können. Wir setzen demnach fest, unter der Vergrösserungszahl soll hier wie bei mikroskopischen Bildern verstanden werden, wievielmal grösser der Sehwinkel ist, unter welchem das virtuelle Bild erscheint, als der Sehwinkel, unter welchem das gesehene Netzhautstück in 8 par. Zoll Entfernung versetzt erscheinen würde. Sei nun der Pfeil α der Durchmesser des gesehenen Netzhautstückes und der Pfeil bei b das reelle Bild, welches durch den brechenden Apparat des beobachteten Auges davon aussen entworfen würde. Seine Länge β wird $= \frac{b}{x} \alpha$ sein, wenn mit x die Entfernung des Knotenpunktes von der Netzhaut im Auge A bezeichnet wird. Die Linse B entwirft nun von dem für ihren Standpunkt virtuellen Objekte bei b ein virtuelles Bild bei d, dessen Durchmesser δ sich berechnet

$$= \frac{d - e_2}{b - e_1} \cdot \frac{b}{x} \alpha.$$

Diese Grösse durch d dividirt oder

$$\frac{d - e_1}{d} \cdot \frac{b}{b - e_2} \cdot \frac{\alpha}{x},$$

ist aber die doppelte Tangente des halben Gesichtswinkels, unter welchem das schliesslich virtuelle Bild dem beobachtenden Auge erscheint, oder da es sich hier nur um kleine Gesichtswinkel handeln kann, geradezu das Bogenmaass dieses Gesichtswinkels. Ebenso ist das Bogenmaass des Winkels, unter welchem der Durchmesser $\alpha =$ des Netzhautstückchens in eine Entfernung von 8 Zoll frei vor das Auge gesetzt erscheinen wird $\frac{\alpha}{8}$ oder wenn man in Millimetern messen will $\frac{\alpha}{216}$. Die Vergrösserungszahl wäre also der Verabredung entsprechend

$$= \frac{d - e_2}{d} \cdot \frac{b}{b - e_1} \cdot \frac{\alpha}{x} : \frac{\alpha}{216} = \frac{d - e_2}{d} \cdot \frac{b}{b - e_1} \cdot \frac{216}{x}$$

oder wenn wir wieder e_2 und e_1 gegen d und b vernachlässigen =

$\frac{216}{x}$. Setzen wir nun x für ein normales Auge in runder Zahl = 15 mm., so ergiebt sich die Vergrösserung der Netzhaut bei Beobachtung aus unmittelbarer Nähe im virtuellen aufrechten Bilde als eine etwa 14,4fache. Diese Zahl ist, wie man sieht, unabhängig von den Refraktionszuständen der beiden Augen, nur müssen die beiden Sehweiten viel grösser als der Abstand zwischen beiden Augen sein, welche Bedingung immer erfüllt ist, wenn nicht ein oder beide Augen sehr myopisch sind.

Eine theoretisch sehr bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit des Helmholtz'schen Augenspiegels besteht darin, dass man mit demselben im beobachteten Auge das deutliche Netzhautbild der beleuchtenden Flamme sehen kann, denn man kann ja diese in solcher Entfernung aufstellen, dass von ihrem Spiegelbild ein deutliches Bild auf der Netzhaut des beobachteten Auges entsteht, welches dann vom beobachteten Auge 14mal vergrössert deutlich gesehen wird.

Beim Helmholtz'schen Augenspiegel wie bei der Beobachtungsart aus der Nähe in aufrechtem virtuellen Bilde überhaupt ist das zu übersehende Netzhautstück immer sehr klein. Es ist nämlich, wie gezeigt wurde, immer das Zerstreuungsbild der Pupille des beobachtenden Auges im beobachteten. Dies ist aber, wie man leicht sieht, klein, wenn beide Augen einander nahe sind und nur eine Zerstreuungslinse dazwischen steht.

Bei allen ophthalmoskopischen Untersuchungen pflegen die Hornhautreflexe der unentbehrlichen starken Lichtquelle sehr störend zu sein. Um diesen Uebelstand möglichst zu vermindern und um die Beleuchtungsstärke zu vergrössern, hat Helmholtz bei Construction seines Augenspiegels einen sinnreichen Kunstgriff angewendet. Er nimmt nämlich zur Beleuchtung nicht eine, sondern drei dicht zusammengelegte parallele Glasplatten die drei fast zusammenfallende beleuchtende Bilder geben. Stehen sie aber unter einem gewissen Winkel zu den von der Flamme kommenden Strahlen, so wird das reflektirte Licht nahezu vollständig polarisirt sein. Das an der Hornhaut reflektirte Licht wird diese Polarisation behalten und folglich auf dem Wege zum beobachtenden Auge beim Durchgange durch die Platten sehr geschwächt werden. Das von der beobachteten Netzhaut zurückkehrende Licht hat dagegen durch die diffuse Zerstreuung die Polarisation verloren und wird also beim Durchgang durch die Platten nur soweit geschwächt, als es die gewöhnliche Absorption bedingt.

Trotz dieses Kunstgriffes bleibt die Lichtstärke des schliesslichen

Bildes bei Beleuchtung mit durchsichtigen Glasplatten immer gering. Zu praktischen Zwecken pflegt man daher die Beobachtung im aufrechten Bilde aus der Nähe zu kombiniren mit dem anderen Princip der Beleuchtung. Um zu verstehen, wie dies zweckmässig auszuführen ist, stelle man sich zunächst vor, dass ein Hohlspiegel von dem Orte aus, wohin er das Bild einer Flamme wirft, gesehen, selbst wie eine stark leuchtende Fläche erscheint, da ja von jedem Punkte derselben ein Strahlenbündel ausgeht, das nach den einzelnen Punkten des Bildes divergirt. Steht also hier die Pupille eines Auges, die kleiner als das Flammenbild ist, so wird sie von jedem Punkte des Spiegels her von einem Strahlenkegel erfüllt. Dasselbe gilt annähernd auch dann noch, wenn das Auge zwischen dem Flammenbilde und dem Spiegel steht. Stellt man also einen Hohlspiegel an die Stelle der Glasplatte schräg vor das beobachtete Auge und die Lampenflamme an die geeignete Stelle zur Seite, so kann der Hohlspiegel selbst als leuchtende Fläche angesehen werden und er wird ein grosses Feld auf der Netzhaut stark beleuchten. Zum Zwecke der Beobachtung muss nun freilich der undurchsichtige Hohlspiegel ein kleines Loch in der Mitte haben, von welchem kein Licht ausgehen kann, da aber der Rand dieses Loches ein Zerstreuungsbild im beobachteten Auge entwirft, so wird die dadurch entstehende Lücke in der Beleuchtung seiner Netzhaut keine vollständige sein, sondern nur an einer Stelle eine Schwächung derselben bedingen. Eine Idee von der Lichtvertheilung in dem Zerstreuungsbilde des Loches im Spiegel *ab* kann Fig. 33 geben, wo der radial gemessene Abstand

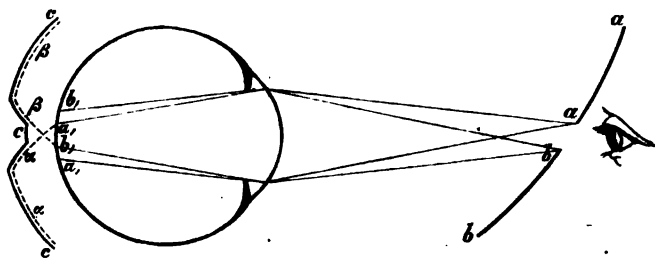


Fig. 33.

der ausgezogenen Kurve *cc* von der Umfangslinie des Augapfels ungefähr die Beleuchtungsstärke im betreffenden Punkte der Netzhaut misst. Der radial gemessene Abstand der punktirten Kurve ,*ββ* stellt nämlich die vom Spiegeltheil *bb* herrührende Beleuchtungsstärke dar und ebenso der Abstand der punktirten Kurve ,*αα* die vom Spiegeltheil *aa* herrührende Beleuchtungsstärke, die radialen Ordinaten der

Kurve *ccc* sind aber die Summen der Ordinaten der punktirten Kurven. Eine direkte subjektive Anschauung vom Umfang und von der Stärke der Beleuchtung an den verschiedenen Stellen erhält man, wenn man das eigene Auge an die Stelle des beobachteten vor den Spiegel und die Lichtflamme an ihren Ort bringt. Man sieht leicht, dass die Lücke in der vollen Beleuchtung um so heller wird, je weiter die Pupille des beobachteten Auges ist. Da andererseits auch das Zerstreuungsbild der Pupille des Beobachters im beobachteten Auge oder das vom Beobachter zu überschauende Gesichtsfeld von der Pupillenweite des beobachteten Auges abhängt, so ist es für die Beobachtung aus der Nähe im virtuellen Bilde wesentlich jene Pupillenweite so gross als möglich zu machen, was durch Atropineinträufelung geschehen kann.

Statt des durchbohrten Hohlspiegels kann auch ein durchbohrter Planspiegel dienen, wenn zwischen ihn und die Lichtflamme eine Konvexlinse gesetzt wird. Verschiedene Kombinationen der soeben beschriebenen Beleuchtungsapparate mit den erforderlichen Zerstreuungslinsen in verschiedenen Fassungen mehr oder weniger fest vereinigt bilden die Augenspiegel von Coccius, Donders & van Trigt und Liebreich.

Um den Augengrund im reellen Bilde zu beobachten, brauchte man — so scheint es wenigstens — für mehr oder weniger myopische Augen nur die in Fig. 30 dargestellte Anordnung zu verwirklichen und den Abstand der beiden Augen gleich der Summe ihrer Sehweiten zu machen. In der That muss ja in der Sehweite des beobachteten Auges vom beleuchteten Theile seines Grundes ein reelles umgekehrtes Bild entstehen, was alsdann für den Beobachter in seiner Sehweite läge. Man sieht aber leicht, dass hier die Lichtstärke sehr gering sein und das übersehene Gesichtsfeld fast auf einen Punkt zusammenschrumpfen würde.

Um zunächst diesem letzteren Uebelstande zu begegnen, setzt man nahe vor das beobachtete Auge *A* (Fig. 34) eine starke Konvexlinse *B*, deren Brennweite ungefähr gleich ihrem Abstande vom Knotenpunkte dieses Auges ist. Stellt sich jetzt das beobachtende Auge bei *C* in wenigen Decimeter Entfernung von der Linse auf, so wird sein Gesichtsfeld im Auge *A* sehr gross. Denkt man sich nämlich jetzt ein Strahlenbündel vom Mittelpunkte der Pupille des Auges *C*

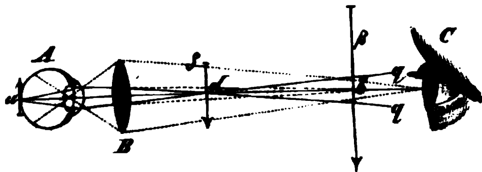


Fig. 34.

ausgehend, so würde dasselbe durch die Linse *B* in einem Punkte vereinigt, der nahe am Knotenpunkt von *A* liegt, seine Strahlen gingen also durch das Auge *A* fast ungebrochen und würden auf seiner Netzhaut ein sehr grosses Feld beleuchten. Die beiden äussersten Strahlen dieses Bündels, welche durch den Rand der Linse gehen, sind in der Figur als punktirte Linien zu verfolgen. Dieses ganze Feld ist aber das von *C* aus zu übersehende Gesichtsfeld, denn auf jedem Wege, auf welchem ein Strahl von der Pupille des Auges *C* auf die Netzhaut von *A* gelangen kann, auf dem kann auch ein Strahl von der Netzhaut des Auges *A* in die Pupille von *C* fallen. Es verdient noch bemerkt zu werden, dass jetzt das Gesichtsfeld gar nicht von dem Pupillenrande des Auges *A* begrenzt, also auch nicht von ihrer Weite abhängig ist. Es ist vom Linsenrande begrenzt, wie aus der Konstruktion ersichtlich, und hängt daher von ihrer Oeffnung allein ab.

Da die Pupille des Beobachters in Wirklichkeit doch nicht ein blosser Punkt ist, so ist das Gesichtsfeld eigentlich noch ein wenig grösser als aus dieser Konstruktion hervorgeht.

Die Linse *B* bewirkt aber zugleich noch etwas Anderes. Ein vom Netzhautpunkte *a* des Auges *A* ausgehendes Strahlenbündel würde offenbar in der Sehweite dieses Auges, die *b* heissen mag, wieder vereinigt werden. Der Punkt dieser Vereinigung sei der Punkt *b* der Figur. Vermöge der Brechung, die das Bündel in *B* erleidet, wird es aber schon früher, etwa in *d*, vereinigt. Hier kommt also ein reelles Bild des Punktes *a* zu Stande. Ebenso entstehen von den *a* benachbarten Punkten der Netzhaut von *A*, wenn sie leuchtend sind, reelle Bilder in der Nähe von *d* und stellen hier in einer zur Axe des Auges *A* senkrechten Ebene ein verkehrtes reelles Bild der ganzen um *a* herum gelegenen Netzhautgegend dar. Dies Bild kann nun von *C* aus deutlich gesehen werden, wenn der Abstand des Punktes *d* von *C*, den wir mit *d* bezeichnen wollen, die deutliche Sehweite von *C* ist. Sollte diese grösser als *d* sein, so müsste sich *C* noch mit einer entsprechenden Sammellinse bewaffnen, welche vom reellen Bilde bei *d* ein virtuelles Bild in der deutlichen Sehweite von *C* macht.

Um bei dieser Beobachtungsart die Vergrösserung zu berechnen, sei α die wirkliche Länge des als Objekt dienenden Netzhautstückes von *A* (des Pfeiles bei *a*). Davon würde bei *b* durch die brechenden Medien von *A* ein reelles Bild entworfen, dessen Länge $\beta =$

1 Die Sehweite *b* mag hier vom Knotenpunkte aus statt vom Hauptpunkte aus gemessen sein.

$\frac{b}{\varkappa}\alpha$ wäre, wenn wir wie oben mit $\varkappa$ den Abstand zwischen Netzhaut und dem Knotenpunkte von A bezeichnen. Dieses reelle Bild dient nun der Linse B als virtuelles Objekt. Setzen wir die Linse, wie oben angenommen, um ihre Brennweite f abstehend vom Knotenpunkte des beobachteten Auges abstehend voraus, so ist der Abstand x des reellen Bildes, das sie von dem um $b - f$ von ihr abstehenden virtuellen Objekte entwirft, zu berechnen aus der Gleichung

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{-(b-f)} = \frac{1}{f} \text{ oder } x = \frac{f(b-f)}{b}.$$

Die Länge δ dieses Bildes ist also

$$\frac{f(b-f)}{b} \cdot \frac{1}{b} \cdot \frac{b}{\varkappa}\alpha = \frac{f(b-f)}{b} \cdot \frac{\alpha}{\varkappa}.$$

Da aber gemeiniglich Linsen von kurzer Brennweite angewandt werden, also f meist klein gegen b ist, so wird δ nahezu

$$\delta = \frac{f}{\varkappa}\alpha$$

sein. Da $\varkappa$ ungefähr 15 mm. beträgt, wird also für $f = 30$ mm., $\delta = 2\alpha$, für $f = 45$ mm. $\delta = 3\alpha$, für $f = 60$ mm. $\delta = 4\alpha$ sein, d. h. das schliesslich sichtbare reelle Bild des Netzhautstückes ist in Wirklichkeit 2-, 3- und 4mal so gross als das Objekt, wenn eine Linse von 30, 45 und 60 mm. Brennweite vor das beobachtete Auge gesetzt wird. Wollte man die Vergrösserungszahl hier nach demselben Principe berechnen wie oben S. 132, so hätte man den Gesichtswinkel, unter welchem δ von C aus erscheint, nämlich

$$\frac{\delta}{d} \text{ oder } \frac{f\alpha}{\varkappa d}$$

zu dividiren durch den Gesichtswinkel, unter welchem α in 8 par. Zoll oder 216 mm. Entfernung erscheint, d. h. $\frac{\alpha}{216}$, dies giebt $\frac{f \cdot 216}{\varkappa \cdot d}$

Wäre die Sehweite d des Auges C selbst gerade 216 mm., so stimmt die so berechnete Vergrösserungszahl natürlich mit der reellen Vergrösserung überein.

Um für diese Beobachtungsart aus der Ferne im verkehrten reellen Bilde zu beleuchten, kann man wieder eine Glasplatte schräg vor C setzen und an geeigneter Stelle eine Lampe, deren Reflex durch B in das Auge A fällt. Diese Combination ist mit einigen Besonderheiten verwirklicht in dem Augenspiegel von ENGELHARDT.

Wenn man zur Beleuchtung den durchbohrten Hohlspiegel verwendet, so wird er dicht vor C so gehalten, dass er das reelle Bild einer grossen und hellen Lampenflamme gerade auf die Linse B wirft.

Füllt dies die ganze Linse *B* aus, so erscheint für den Standpunkt von *A* die ganze Linse *B* wie eine stark leuchtende Scheibe, welche also stets ein hinlänglich grosses Zerstreuungsbild auf der Netzhaut von *A* erleuchtet. Darin ist auch kaum etwas von einer Lücke, dem Loche des Spiegels entsprechend, wahrzunehmen. Davon kann man sich subjektiv leicht überzeugen, wenn man alles wie zur Beobachtung aufstellt und sein eigenes Auge an die Stelle von *A* bringt. Aber auch durch Konstruktion des Strahlenganges von der Lampenflamme zum Spiegel und durch die Linse ins Auge kann leicht gezeigt werden, dass keine störend wirkende Lücke in der Beleuchtung zu Stande kommt.

ZWEITER THEIL.

DIE LEHRE VON DER LICHTEMPFINDUNG.

VON

PROF. DR. A. FICK IN WÜRZBURG.

EINLEITUNG.

Die Strahlen, deren Gang durch die brechenden Medien des Auges wir im vorigen Abschnitte verfolgt haben, fallen zuletzt auf die im Hintergrunde des Auges ausgebreiteten Sehnervenenden, und bilden deren adäquaten Reiz. Es ist bekannt, dass auf die eigentliche Nervensubstanz strahlend fortgepflanzte Aetheroscillationen gar nicht oder nur dann reizend wirken, wenn sie dieselben in solcher Intensität treffen, dass dadurch eine für das Nervengewebe fast tödtliche Erwärmung hervorgebracht wird. Das Auge wird dagegen, wie die tägliche Erfahrung lehrt, von äusserst schwachen Strahlungen sehr merklich erregt. Solche aber, wie sie z. B. von einer durch schwachen Mondschein beleuchteten Fläche ausgesandt werden, können ganz sicher ein eigentliches Nervenelement, sei es Faser oder Zelle, nicht reizen. Man muss daher nothwendig annehmen, dass an den Enden der Sehnervenfasern besondere Apparate angebracht sind. Sie können nicht aus eigentlicher Nervensubstanz bestehen, deren molekulares Gleichgewicht durch so schwache Anstösse eben noch nicht in dem zum Entstehen einer Erregungswelle erforderlichen Grade gestört wird. Sie müssen vielmehr aus einem Stoffe bestehen, welcher wie etwa die photochemisch empfindlichen Substanzen die Eigenschaft haben, dass sie treffende Aetherschwingungen darin chemische Kräfte auslösen, welche eine weit grössere Arbeit zu leisten vermögen als die auslösenden Aetherschwingungen. Diese grössere Arbeit kann dann zur Erregung der mit diesen Apparaten zusammenhängenden Nervenenden verwandt werden. Nur auf diese Art kann die Erregung der verhältnissmässig trägen Nervensubstanz durch so märchenhaft ge-

ringfügige Arbeit, wie sie der schwächste noch sichtbare Lichtstrahl zu leisten im Stande ist, erklärt werden. Beiläufig bemerkt, giebt die enorme Reizbarkeit anderer Sinnesapparate zu analogen Folgerungen Anlass.

Es entsteht nun die Frage, welches von den zahlreichen unter dem Mikroskope unterscheidbaren Gewebselementen der Netzhaut mit der grössten Wahrscheinlichkeit als dasjenige zu betrachten ist, in welchem jene Auslösung anderer Kräfte durch die Arbeit der Aetheroscillationen stattfindet. Um sie entscheiden zu können, müssen wir uns den anatomischen Bau der Netzhaut genau vorstellen.

ERSTES CAPITEL.

Bau der Netzhaut.

Nachdem der Sehnerv die Sklera und Chorioidea durchbohrt hat, breiten sich seine Faserbündel nach allen Seiten in der tunica retina aus, die daher zusammengesetzt ist aus den Fasern dieses Nerven, ihren Anhangsgebilden und einem bindegewebigen Stroma, in welches die eigentlich nervösen Elemente eingelagert sind. Da die Ausbreitung der Sehnervenfasern auf der inneren Seite der Netzhaut liegt und die übrigen Elemente nach aussen davon, so müssen diese Elemente natürlich an der Durchtrittstelle des Sehnerven selbst fehlen, der die übrigen Schichten der Netzhaut gewissermaassen auch durchbohrt. Indem an dieser Stelle die Nervenfasern hervorquellen, entsteht daselbst eine Hervorragung nach innen, die sogenannte papilla nervi optici, welche ungefähr in der Mitte eine kleine trichterförmige Einsenkung zeigt, entsprechend dem allseitigen Auseinanderbiegen der Faserbündel. Hier treten auch die vasa centralia retinae an die innere Oberfläche der Netzhaut. Die Verzweigungen der Gefässe schliessen sich einzelnen Faserzügen der Sehnervenausbreitung an.

Die verschiedenartigen Gewebselemente der Netzhaut sind im allgemeinen in Schichten geordnet, deren sich auf einem zur Flächenausbreitung senkrechten Schnitte 10 deutlich unterscheiden lassen.

In Fig. 35 ist ein solcher Schnitt schematisch dargestellt und die einzelnen Schichten durch Zahlen bezeichnet. Die Reihenfolge der Zahlen von unten nach oben fortschreitend, entspricht der Fort-

schreitung von innen nach aussen, d. h. von der Glaskörperseite zur Chorioidealseite, so dass man unten den Glaskörper, oben die Chorioidea sich zu denken hat. Die übliche Benennung der Schichten ist folgende:

1. Membrana limitans interna.
2. Nervenfaserschicht.
3. Ganglienzellenschicht.
4. Innere granulirte oder moleküläre Schicht.
5. Innere Körnerschicht.
6. Aeussere granulirte oder Zwischenkörnerschicht.
7. Aeussere Körnerschicht.
8. Membrana limitans externa.
9. Stäbchen- und Zapfenschicht.
10. Pigmentepithel.

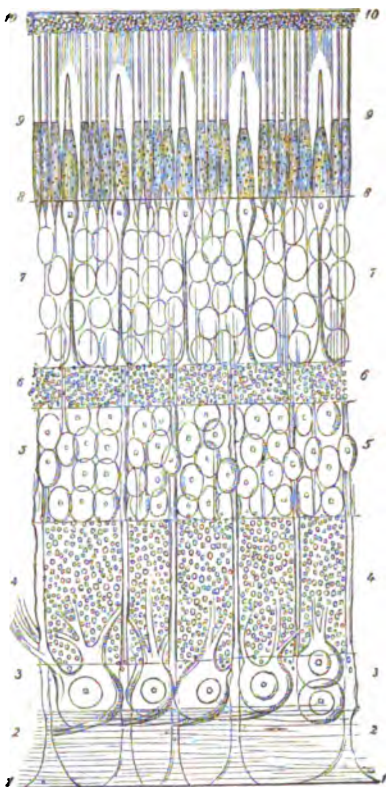


Fig. 35.

Wie in der Zeichnung zu sehen, ist die ganze Dicke der Netzhaut von zahlreichen radialen Fasern durchzogen. Diese nach ihrem Entdecker MÜLLER'sche genannten Fasern hält man gegenwärtig zum grossen Theil für Elemente der stützenden Bindesubstanz, zu welcher ausserdem unzweifelhaft die Membrana limitans externa und interna gehört. Die limitans interna stellt sich bei genauerer Betrachtung dar als gebildet durch trichterförmige Ausbreitung radialer Fasern (wie auch in der Figur angedeutet ist), die an den Rändern miteinander verschmelzen. Die limitans interna wäre demnach keine ununterbrochene Schicht, sondern eher einem filigranartigen Gitterwerk zu vergleichen. Ein ebensolches Gitterwerk stellt auch die limitans externa dar, durch dessen Lücken die weiter unten zu beschreibenden Stäbchen und Zapfen durchtreten.

Die ganze stützende Bindesubstanz der Netzhaut kann man ansehen als ein schwammartiges Gewebe, in dessen Lücken die nervösen Elemente eingelagert sind. In der Faser-, Zellen- inneren und äusseren Körnerschicht sind die Lücken verhältnissmässig gross und

die Substanz reducirt sich auf einzelne radial gestellte Bälkchen — eben die schon erwähnten Radialfasern. In den beiden granulirten Schichten (4 und 6 Fig. 35) herrscht die Bindesubstanz mehr vor, die Lücken sind kleiner. Von diesem ganzen in zwei Schichten dichteren, in den übrigen spärlicheren und mehr groblöcherigen Schwammgewebe wäre demnach die membrana limitans interna die innere, die limitans externa die äussere Grenze. Ueber die letztere hinaus erstrecken sich jedoch noch radiale Fortsätze der Bindesubstanz zwischen die Elemente der äussersten Netzhautschicht. Eine Vorstellung von dieser Auffassung der Bindesubstanz der Netzhaut, die von M. SCHULTZE ausgebildet ist, kann Fig. 36 geben, wo die verschiedenen Schichten mit denselben Zahlen wie in Fig. 35 bezeichnet sind. Die beiden äussersten (9 u. 10) Schichten fehlen auf dieser Figur. Gewisse Körner der inneren Körnerschicht (5 Fig. 35 und 36) hält M. SCHULTZE für Kerne der radialen Bindegewebsfasern und sind solche daher in das Schema der Bindesubstanz (Fig. 36) aufgenommen, die übrigen Körner dieser Schicht aber hält er für nervöse Elemente.

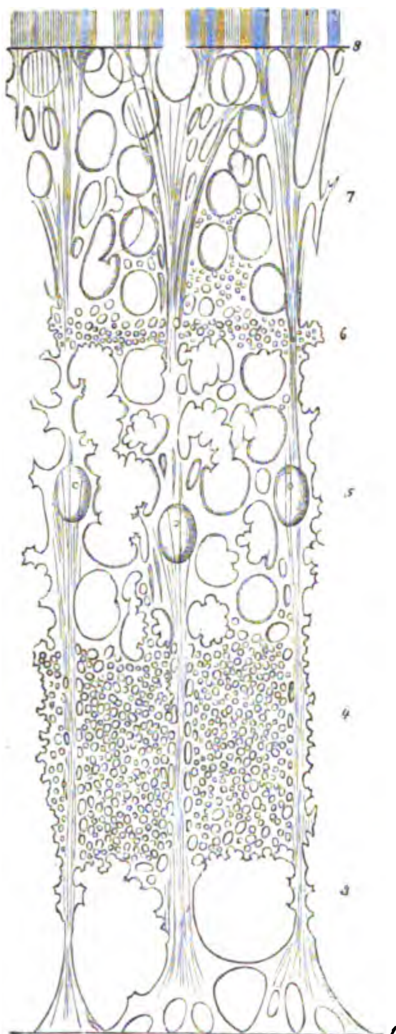


Fig. 36.

Die unzweifelhaft nervösen oder wenigstens allgemein für nervös gehaltenen Elemente, welche in dem beschriebenen Bindesubstanzlager eingebettet liegen, sind folgende. Die Opticusfasern ziehen der Fläche parallel in der zweiten Schicht dicht unter der limitans interna. Es sind marklose Nervenfasern von grosser Feinheit. Sie gehen im Allgemeinen in Bündel gesondert strahlenartig von der

Eintrittstelle des Sehnerven nach allen Seiten. Eine besondere Form aber haben die Faserzüge um den gelben Fleck herum, d. h. um die ausgezeichnete Stelle der Netzhaut, welche dem Hornhautscheitel ziemlich diametral gegenüber liegt und die schon früher (s. S. 66) als die Stelle des schärfsten Sehens bezeichnet ist. Diese Stelle wird von den Opticusfaserzügen umgangen, so dass sie nicht von einer Faserschicht bedeckt ist. Eine Anschauung von dem Gang der Faserzüge kann Fig. 37 geben, wo die Opticuspapille das Centrum der

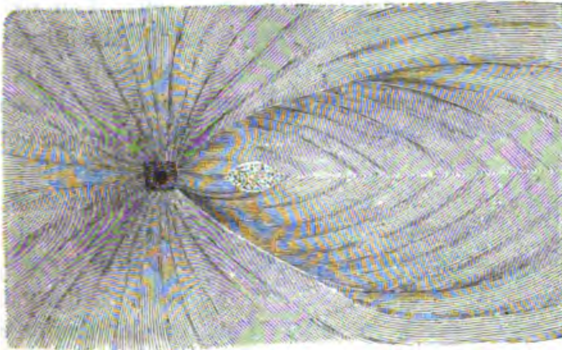


Fig. 37.

Ausstrahlung bildet und etwas rechts davon der gelbe Fleck zu sehen ist. Die Mächtigkeit der Sehnervenfaserschicht ist an der Papille am grössten, wo mehrere Fasern in der Dicke übereinanderliegen, und nimmt von da nach der ora serrata stetig ab. Schon 8 mm. von der Papille liegen die Fasern blos in einfacher Schicht, jedoch noch gedrängt. Noch weiter nach vorn ist die Faserschicht nicht mehr vollständig geschlossen.

Manche Forscher wollen Verzweigungen der Opticusfasern gesehen haben, doch wird dies von andern für eine Verwechselung gehalten und sind solche Verzweigungen in der That sehr unwahrscheinlich.

Die Ganglienzellen, welche die Hauptmasse der 3. Netzhautschicht ausmachen, gleichen in jeder Beziehung den multipolaren Ganglienzellen anderer Theile des Cerebrospinalorganes wie Fig. 38 zeigt, welche einige Ganglienzellen aus der Netzhaut des Kalbes in der für solche Objekte üblichen Vergrösserung darstellt. Unter den Fortsätzen jeder Ganglienzelle ist einer besonders ausgezeichnet durch seine Stärke und sein glänzendes Aussehen. Er bleibt ungetheilt und geht in eine Opticusfaser über, die andern Fortsätze gehen nach aussen und thei-

len sich alsbald in verschwindend feine Fädchen, welche sich in die granulirte Schicht verlieren. Ob die Ausläufer benachbarter Ganglienzellen sich untereinander verbinden ist nicht ausgemacht, jedoch wollen es manche Forscher beobachtet haben.

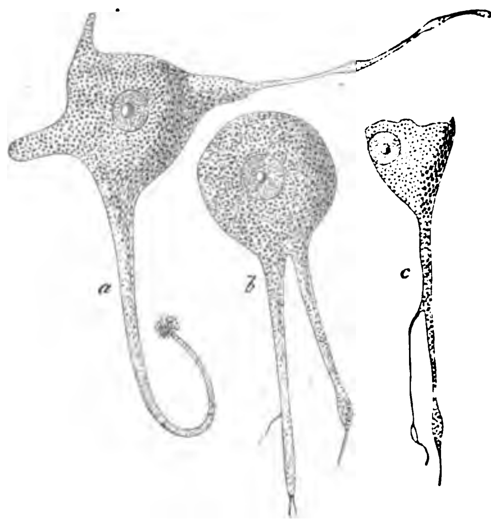


Fig. 38.

Die Ganglienzellenschicht ist im gelben Fleck am mächtigsten. Hier liegen in der Dicke 8—10 Zellen übereinander. Von da an nimmt die Mächtigkeit nach allen Seiten ab, so dass in einiger Entfernung die Zellen nur noch in einfacher Schicht aber dicht gedrängt neben einander liegen. Noch weiter gegen die ora serrata ist die Zellenschicht nicht mehr ununterbrochen, sondern man findet nur vereinzelte durch mehr oder weniger grosse Zwischenräume getrennte Zellen.

Die nervösen Elemente der inneren granulirten Schicht sind nicht vollkommen deutlich zu unterscheiden. Am wahrscheinlichsten sind es äusserst feine Fädchen, welche mit den äusseren Fortsätzen der Ganglienzellen zusammenhängen. Diese Fädchen scheinen einen verworrenen Filz zu bilden, der in das Lückensystem des hier reichlichen schwammigen Bindegewebes eingebettet ist.

Die Mehrzahl der Körner der inneren Körnerschicht hält man für nervöse Gebilde, da sie in ihrem Ansehen und in allen chemischen Reaktionen kleinen Ganglienzellen gleichen. Jedes solche Korn besitzt zwei Ausläufer deren einer nach innen einer nach aussen gerichtet ist. Der erstere dürfte in Zusammenhang stehen mit Fädchen der inneren granulirten Schicht der andere mit solchen der äusseren granulirten Schicht. In dieser letzteren scheint wie in der inneren granulirten Schicht ein Filz von nervösen Fäden vorhanden zu sein, die wahrscheinlich wie soeben ausgesprochen wurde mit den äusseren Ausläufern der Zellen der inneren Körnerschicht zusammenhängen. Von Schwalbe wird übrigens dieser Zusammenhang in Abrede gestellt. Er behauptet, dass die äusseren Ausläufer der inneren Kör-

ner die äussere granulirte Schicht einfach durchsetzen ohne sich mit dem Faserfilz derselben zu verbinden. Dieser würde alsdann wohl für gar nicht nervös anzusehen sein. Es finden sich in der äusseren granulirten Schicht ausserdem zahlreiche sternförmige platte Zellen, denen die nervöse Natur von den besten Beobachtern aber abgesprochen wird.

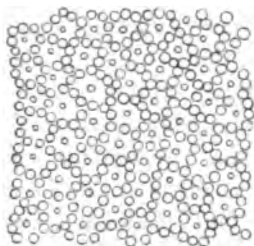
In der äusseren Körnerschicht herrschen wieder die unzweifelhaft nervösen Elemente über die bindegewebigen sehr entschieden vor. Jedes Korn dieser Schicht hängt durch eine radiale Faser deutlich zusammen mit einem Elemente der Stäbchenschicht. Den zweierlei Elementen dieser letzteren entsprechend kann man daher Stäbchenkörner und Zapfenkörner unterscheiden, die auch im Bau, Grösse und Lage verschieden sind. Die Zapfenkörner sind nämlich grösser und liegen an der äusseren Seite der äusseren Körnerschicht, so dass sie eigentlich ohne Zwischenfaser unmittelbar mit den Zapfen zusammenhängen nur durch eine im Niveau der limitans externa befindliche Einschnürung vom Zapfen abgesetzt. Die Stäbchenkörner sind kleiner und durch einen mehr oder weniger langen radialen Faden mit ihren Stäbchen verbunden. Ferner zeigt jedes Stäbchenkorn ein Paar Querstreifen, die den Zapfenkörnern fehlen. Gegenüber dem mit einem Stäbchen oder Zapfen in Verbindung stehenden Ende sendet jedes Korn der in Rede stehenden Schicht einen radicalen Ausläufer nach innen, welcher in der äusseren granulirten Schicht untertaucht und hier nach der einen Auffassung in den Faserfilz eingeht oder sie durchsetzt um direkt in einen Ausläufer eines Kornes der inneren Körnerschicht überzugehen.

Die Schicht der Stäbchen und Zapfen besteht aus dichtgedrängten nervösen Elementen von zweierlei Art. Gemeinsam ist beiderlei Elementen die vorwiegende Ausdehnung in der radialen Richtung und die Zusammensetzung aus zwei deutlich unterscheidbaren Theilen dem sogenannten Innenglied und Aussenglied. In Fig. 35 ist deutlich zu sehen, wo das dunkler schattirte und punktirte Innenglied sich von dem hell gezeichneten ganz cylindrischen Aussenglied absetzt. Die Grenzen liegen gerade in der Linie, welche die beiderseits stehenden Zahlen 9 verbindet. Das Innenglied der Stäbchen sowohl als der Zapfen zeigt unter dem Mikroskop ganz das Ansehen einer Protoplasmamasse. Man sieht daran oft eine Längsstreifung, welche von einigen Autoren erklärt wird durch die Anwesenheit feiner Fäserchen, welche von der limitans externa zwischen die Elemente der Stäbchenschicht hineinragen.

Die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen zeichnen sich unter

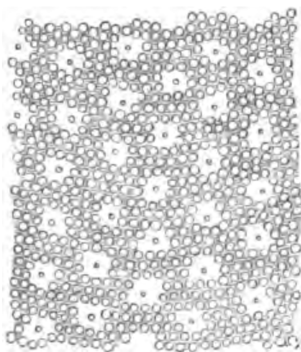
dem Mikroskope durch starken Glanz aus. Sie scheinen aus einer sehr stark lichtbrechenden Substanz zu bestehen. Oefters ist auch an den Aussengliedern eine Längsstreifung wahrgenommen, welche von einigen auf das Vorhandensein einer Faser in der Axe derselben bezogen wird. Besonderes Gewicht haben manche neuere Autoren besonders M. SCHULTZE auf den Umstand gelegt, dass die Aussenglieder leicht der Länge nach in äusserst dünne Plättchen von grosser Regelmässigkeit zerfallen.

Bei dieser grossen Uebereinstimmung im Bau darf wohl angenommen werden, dass die Stäbchen und Zapfen nicht wesentlich verschiedene Gebilde sind. Der einzige Unterschied besteht darin, dass die Zapfen etwas dicker sind namentlich das Innenglied. Das Aussenglied des Zapfens ist dagegen ein wenig kürzer als das des Stäbchens und läuft nach aussen spitz zu.


Fig. 39.

Die Vertheilung der beiderlei Elemente ist in verschiedenen Theilen der Netzhaut verschieden. Im gelben Fleck sind bloss Zapfen vorhanden. In der Nähe des gelben Fleckes ist jeder Zapfen von einem einfachen Kranze von Stäbchen umgeben, wie Fig. 39 zu sehen ist. Gegen die Ora serrata hin werden die Zapfen immer seltener, so dass die Stäbchenschicht senkrecht auf ihre Flächenausbreitung betrachtet den Anblick der Fig. 40 darbietet.

Mit den Aussengliedern der Stäbchen und Zapfen in engstem Zusammenhange stehen die Zellen des Pigmentepithels der Netzhaut.


Fig. 40.

Es bildet ein regelmässiges Mosaik von platten sechseckigen Zellen, welche aber pigmentirte Fortsätze zwischen die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen hineinerstrecken. Diese sind davon scheidenartig umgeben. In Fig. 41 sieht man unter *a* das Mosaik der Pigmentzellen in seiner Ausbreitung unter *b* sind zwei Zellen mit ihren Fortsätzen von der Seite zu sehen; unter *c* sieht man noch einige Stäbchenaussenglieder in den Pigmentzelle festhängen. Ueber die Schichten der Netzhaut ist endlich noch zu sagen, dass die äussere Körnerschicht und was von ihr nach aussen liegt, vollständig gefässlos ist.

Der muthmaassliche Zusammenhang der sämmtlichen nervösen Elemente der Netzhaut ist in Fig. 42 übersichtlich dargestellt. Es wird allgemein angenommen, dass die Sehnervenfasern durch Vermitt-

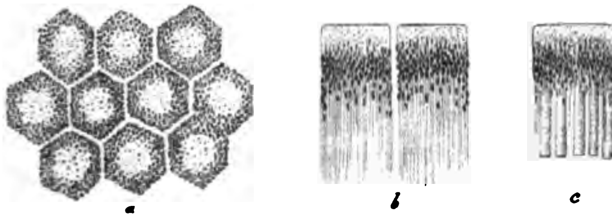


Fig. 41.

lung der Ganglienzellen und radialer Fasern, in welche Körner der inneren und äusseren Körnerschicht eingelagert sind, mit Stäbchen und Zapfen zusammenhängen. Streitig ist das Verhalten der radialen Nervenfasern in der inneren und äusseren granulirten Schicht indem einige Autoren (namentlich Schultze) annehmen, dass hier die radialen Fasern in einen Faserfilz eingehen, andere (Schwalbe) geneigt sind zu glauben, dass sie diesen Faserfilz ohne damit zusammenzuhängen durchsetzen.

In Fig. 43 ist endlich noch eine Darstellung eines senkrechten Schnittes durch die Gegend des gelben Fleckes, der physiologisch besonders ausgezeichnet ist. Die Schichten sind mit denselben Zahlen wie in Fig. 35 bezeichnet.

ZWEITES CAPITEL.

Ort der Reizung durch Lichtschwingungen.

I. Anatomische Betrachtungen.

Die Antwort auf die Frage, welche Elemente der Netzhaut durch Lichtstrahlen reizbar sind, lässt sich erstens in rein anatomischen Erwägungen suchen. Man muss offenbar annehmen, dass die reizbaren Vorrichtungen sich am äussersten peripherischen Ende der Verkettung nervöser Elemente finden, denn eine weitere Fortsetzung dieser Verkettung über den reizbaren Punkt hinaus hätte offenbar keinen Sinn. Nun sind, wie in den vorigen Paragraphen gezeigt ist, nach

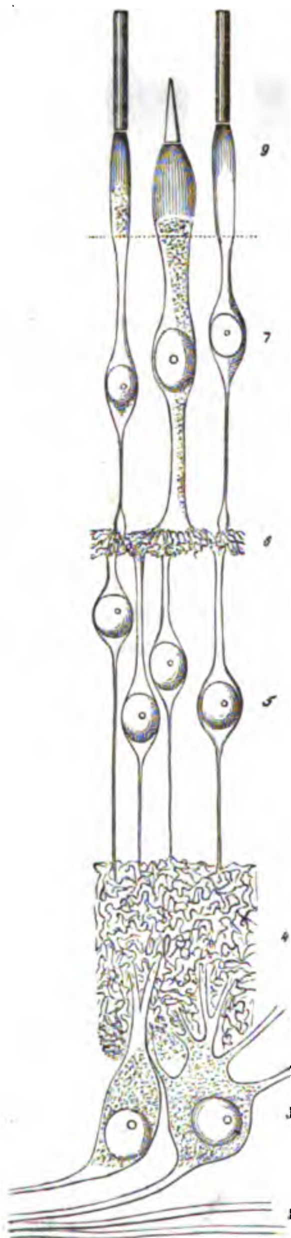


Fig. 42.

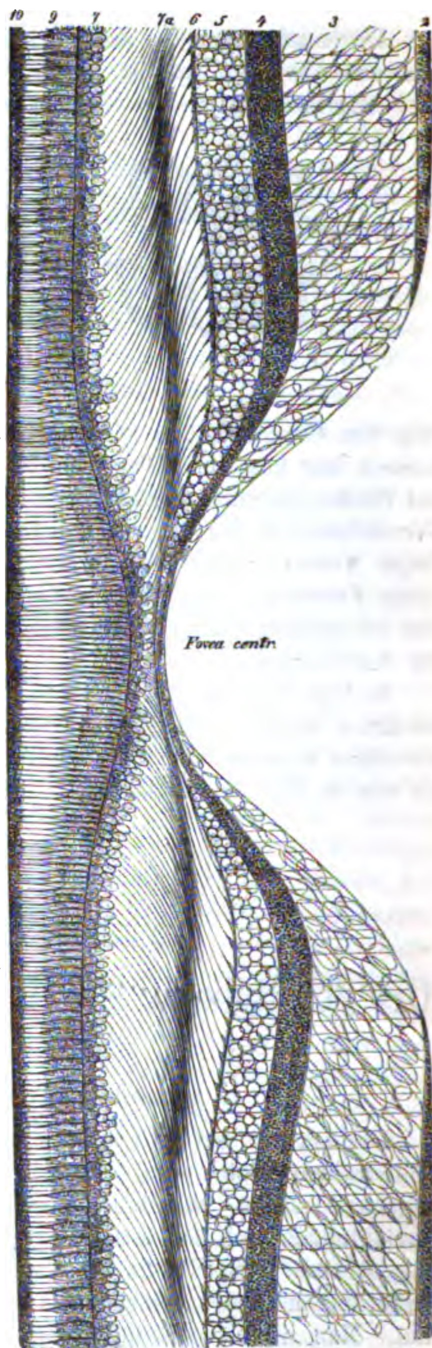


Fig. 43.

den bestbegründeten Annahmen der Anatomen die letzten peripherischen Glieder jener Verkettung nervöser Elemente in der Netzhaut die Stäbchen und Zapfen.

Zu demselben Ergebnisse führt aber die physiologische Ueberlegung. Die Thatsache, dass eine Gruppe dicht beieinanderliegender leuchtender Punkte als solche erkannt werden kann, d. h. dass jeder Punkt derselben gesondert gesehen wird, sobald ein optisches Bild dieser Gruppe auf die Retina fällt, zieht die Folgerung nach sich, dass die Schicht der Netzhaut, in welcher die Strahlungen zur Nervenreizung Anlass werden, einen mosaikartigen Bau besitzen muss. D. h. es muss jedes Element dieser Schicht in keiner zur betreffenden Netzhautstelle tangentialen Richtung eine ansehnliche Ausdehnung besitzen und es dürfen in der zur Netzhautfläche normalen Richtung nicht mehrere Elemente übereinanderliegen. Nur so ist es denkbar, dass jedes auf einen Punkt koncentrirte Strahlenbündel eine und nur eine Empfindung bewirkt. Dieser mosaikartige Bau kommt aber nur der Schicht der Stäbchen und Zapfen zu. Wären z. B. die Sehnervenfasern selbst durch Lichtstrahlen reizbar, so würde eine längs eines Meridianes zum Rande der Netzhaut ziehende Faser nicht nur durch ein von einem leuchtenden Punkte ausgehendes Strahlenbündel gereizt werden, sondern von allen denen, welche ihre Vereinigungspunkte in den Punkten dieses Meridianes fänden und man könnte also alle die äusseren Punkte, deren Bilder auf diesem Meridian liegen, nicht unterscheiden, da ihre Strahlungen dasselbe nervöse Element reizten, also zusammen nur eine Empfindung hervorbrächten. Ueberdies liegen in der Nervenfaserschicht stellenweise mehrere Elemente gleicher Art hintereinander und würde also noch dazu jedes einzelne Strahlenbündel mehrere Elemente reizen, wenn sie reizbar wären. Das letztere gilt auch von den weiter nach aussen gelegenen Schichten der Ganglienzellen und der Körner und lässt also auch diese als ungeeignet erscheinen für die Angriffsstelle des Lichtreizes zu gelten.

II. Der blinde Fleck.

Ob die Sehnervenfasern in der That entschieden nicht durch Licht reizbar sind, lässt sich ganz direkt experimentell prüfen. Die Eintrittstelle des Sehnerven in die Netzhaut enthält nämlich ausser Sehnervenfasern gar keine nervösen Elemente, weder Ganglienzellen noch Körner, Stäbchen oder Zapfen. Lässt man nun auf diese Stelle das Bild eines hellen Objektes fallen, so muss sich zeigen, ob die Sehnervenfasern reizbar sind oder nicht, denn wenn sie nicht reizbar

sind, so darf in diesem Falle gar keine Lichtempfindung entstehen. Dass dem wirklich so sei, lehrt der berühmte Mariotti'sche Versuch. Er ist am einfachsten folgendermaassen anzustellen. Man bringe auf dunklem Grunde zwei kleine helle Marken in etwa 10 cm. Abstand von einander an, z. B. zwei weisse Oblaten auf schwarzem Papier. Fixirt man jetzt die rechts gelegene mit dem linken Auge aus etwa 35 cm. Entfernung, so wird die links gelegene unsichtbar. Ebenso wird die rechts gelegene unsichtbar, wenn man die links gelegene mit dem rechten Auge fixirt. Um die richtige Entfernung des Auges nicht zu verfehlen, geht man am besten aus bedeutend grösserer Entfernung an das gewählte Fixations-Zeichen allmählich heran und bemerkt dann bald, wann das andere Zeichen verschwindet und wann es bei noch weiterer Annäherung wieder auftaucht. Das nicht benutzte Auge muss bei dem Versuche geschlossen werden. Man kann übrigens auch schwarze Marken auf hellem Grunde zum Versuche benutzen, denn wenn eine Stelle der Netzhaut unerregbar durch Licht ist, so kann eben nicht unterschieden werden, ob Licht von einem Punkte des hellen Hintergrundes oder kein Licht von der dunkeln Marke darauf fällt. Ein schwarzer Punkt auf hellem Grunde verschwindet also auch, wenn sein Bild auf die fragliche unempfindliche Stelle der Netzhaut fällt.

Da aus den beschriebenen Thatsachen hervorgeht, dass die unsichtbaren Punkte des Gesichtsfeldes schläfenwärts vom fixirten Punkte liegen, so muss die unempfindliche Stelle der Netzhaut nasenwärts vom Pole derselben liegen.

Bei genauerer Zergliederung findet sich ferner meist die Mitte des unsichtbaren Fleckes etwas unterhalb des wagrechten Meridianes der Mittelpunkt der unempfindlichen Netzhautparthie liegt demnach meist etwas oberhalb dieses Meridianes, was für die Eintrittstelle des Sehnerven bekanntlich zutrifft. Dass nun wirklich diese ganze Stelle und nicht etwa — wie manche behauptet haben — blos die Eintrittstelle der vasa centralia retinae durch Licht nicht reizbar ist, geht aus der genaueren Untersuchung der Grösse und Gestalt des unsichtbaren Theiles des Gesichtsfeldes mit Sicherheit hervor. Bei einiger Uebung im Fixiren und Beobachten seitlich gelegener Objekte kann man den unsichtbaren Theil eines Papierblattes sehr leicht genau umschreiben. Man fixirt nämlich einen bezeichneten Punkt des Blattes und bringt die dunkle Spitze eines sonst hellfarbigen schreibenden Stiftes zunächst ins Innere des ungesehenen Raumes, schiebt ihn dann in irgend einer Richtung langsam vor bis die Spitze eben sichtbar wird, hier macht man ein Zeichen auf das Blatt und

verfährt gerade so in möglichst vielen verschiedenen Richtungen, dann erhält man ebensoviele Punkte von der Umgrenzung des unsichtbaren Theiles des Blattes. HELMHOLTZ zeichnete nach diesem von ihm angegebenen Verfahren den für sein rechtes Auge unsichtbaren Theil eines Papierblattes, wie es in Fig. 44 durch den schwarzen Fleck angegeben ist. Das Kreuzchen bei *a* ist der fixirte Punkt und die Linie *AB* der dritte Theil der zugehörigen Entfernung des Auges vom Papierblatte. Man sieht, dass die Form und Grösse des schwarzen Fleckes ganz wohl der papilla nervi optici entspricht. Denn sein Bild auf der Netzhaut in einem um 3 *AB* abstehenden Auge würde einen Durchmesser von etwa 2 mm. haben, also den Durchmesser der vasa centralia retinae bei weitem übertreffen. Man sieht übrigens in der Figur, dass die Stellen wo die vasa centralia aus der Papille austreten auch noch in den Bereich der unempfindlichen Stelle gehören.



Fig. 44.

Der Winkel zwischen der Fixationsrichtung und dem Richtungsstrahl zum nächstbenachbarten Punkte des unsichtbaren Raumes beträgt nach LISTING 12° 37′, nach HELMHOLTZ 12° 25′, nach TH. YOUNG 12° 56′; der Winkel zwischen dem Richtungsstrahl zum äussersten Punkte des unsichtbaren Raumes und der Fixationsrichtung beträgt nach LISTING 18° 33′, nach HELMHOLTZ 18° 55′, nach TH. YOUNG 16° 1′. Der wagrechte Durchmesser des unsichtbaren Fleckes umspannt einen Gesichtswinkel von 3° 39′ bis 9° 47′, nach Messungen von HANNOVER und THOMSEN an 22 verschiedenen Augen. Das Mittel aus allen diesen Messungen beträgt 6° 10′. LISTING fand für diese Grösse den Werth 5° 56′, GRIFFIN in maximo 7° 31′, HELMHOLTZ 6° 56′, TH. YOUNG 3° 5′. HELMHOLTZ zweifelt jedoch an der Zuverlässigkeit dieser letzteren auffallend kleinen Angabe, weil YOUNG eine ungeeignete Methode angewandt habe. Aus den mitgetheilten Angaben lässt sich der Durchmesser der unempfindlichen Netzhautstelle berechnen, wenn man über die Entfernung des Knotenpunktes von der Netzhaut eine bestimmte Annahme macht. Setzt man sie = 15 mm., so ergiebt sich für LISTING's Auge 1,55 mm., für HELMHOLTZ's Auge 1,81 mm. und als Mittel für die von HANNOVER und THOMSEN beobachteten Augen 1,61 mm. E. H. WEBER fand bei zwei

Leichenaugen den wagrechten Durchmesser der Eintrittstelle des Sehnerven = 2,1 mm. und = 1,72 mm. was mit den soeben gefundenen Werthen des Durchmessers nahezu übereinstimmt, dagegen war der grösste Durchmesser des Stranges der vasa centralia nach den Messungen von Weber nur 0,31 resp. 0,28 mm. Der Abstand der Mitte des gelben Fleckes von der Mitte der Sehnervenpapille betrug bei dem einen jener Leichenaugen 3,8 mm. und in Listing's Auge berechnet sich der Abstand der Mitte des unempfindlichen Netzhauttheils von der Mitte des gelben Fleckes zu 4,05 mm.

Man kann sich die Grösse des unsichtbaren Raumes recht anschaulich machen, wenn man sich vorstellt, dass etwa 11 mal der Vollmond darin Platz hat, oder dass das Gesicht eines etwas über 2 m. abstehenden Menschen darin verschwinden kann.

Lässt man auf die unempfindliche Netzhautstelle sehr starke Lichtstrahlen fallen, z. B. das Bildchen der Sonne, so erfüllt sich das ganze Gesichtsfeld mit einem Lichtschimmer aber offenbar nur darum, weil von den stark durchleuchteten Sehnervenfasern diffuses Licht auf der ganzen Netzhaut verbreitet wird und nicht etwa weil die starke Strahlung die Nervenfasern selbst reizt.

III. Sehschärfe.

Es lassen sich durch Prüfung des Ortsinnes der Netzhaut noch weitere Gründe für die Annahme beibringen, dass gerade die Stäbchen und Zapfen die reizbaren Elemente der Netzhaut sind und dass wenigstens in gewissen Theilen dieses Organes jedes einzelne Element der äussersten reizbaren Schicht in isolirter Verbindung mit der Gegend des Nervensystems steht, deren molekulare Bewegungen für die äussere Anschauung eines Anderen das sind, was für die innere Anschauung des Subjektes selbst bewusstes Empfinden ist. Wenn nämlich dies der Fall ist, so ist es denkbar und es ist nur in diesem Falle denkbar, dass wenn zwei benachbarte Zapfen oder Stäbchen von zwei verschiedenen Lichtreizen getroffen werden, dadurch zwei unterscheidbare Empfindungen entstehen, und dass zwei Lichtempfindungen dann auf räumlich getrennte Objekte als Ursachen bezogen werden, wenn die gereizten Stellen nur um die Breite eines jener Elemente auf der Netzhaut von einander entfernt sind.

Ueber die Entfernung, in welcher sich zwei leuchtende Objekte von einander befinden müssen, um durch den Gesichtssinn als räumlich getrennt wahrgenommen zu werden, sind von verschiedenen Forschern Versuche angestellt. So erscheinen nach Hooke zwei Sterne

nicht mehr als getrennt, wenn ihr Abstand einen Gesichtswinkel von weniger als 60″ umspannt. Das schärfste von E. H. WEBER untersuchte Auge konnte zwei weisse Striche erst dann getrennt wahrnehmen, wenn die Entfernung derselben einen Gesichtswinkel von mindestens 73″ umspannte. HELMHOLTZ konnte noch bei einer Entfernung, welche 64″ spannt, die Striche getrennt sehen. Der Abstand zweier Netzhautpunkte aber, deren Richtungsstrahlen Winkel von 60″, 64″, 73″ miteinander bilden, beträgt beziehlich 0,00438 mm., 0,00464 und 0,00526 mm. Andererseits beträgt die Dicke eines Zapfens im gelben Fleck nach KÖLLIKER's Bestimmungen 0,0045 bis 0,0055 mm. Man sieht hiernach, dass die Thatsachen des Sehens ganz wohl zu der Annahme stimmen, dass jeder Zapfen des gelben Fleckes bei seiner Erregung eine besondere, von jeder anderen unterscheidbare Lichtempfindung vermitteln kann.

Auffallend kann nur erscheinen, dass die durch den anatomischen Bau der Netzhaut gegebene Grenze der Genauigkeit des Sehens auch wirklich nahezu erreicht wird, obgleich doch, wie im ersten Abschnitte gezeigt wurde, die optischen Bilder auf der Netzhaut, selbst bei möglichst vollkommener Einstellung des dioptrischen Apparates, mit grossen Fehlern behaftet sind. So sind die Zerstreuungskreise in Folge der Farbenabweichung bei 4 mm. weiter Pupille in weisser Beleuchtung mindestens 0,04 mm. breit und es müssen also diese Zerstreuungskreise von zwei Punkten, die einen Winkelabstand von nur 70″ am Kreuzungspunkte umspannen, schon weit übereinandergreifen. Dies Uebereinandergreifen der Zerstreuungskreise macht aber die Trennung der beiden Punkte im Bewusstsein nicht unmöglich, denn es kann ein Zapfen zwischen den beiden wahren Bildpunkten eine merklich verschiedene Beleuchtung haben von denen, welche diese Bildpunkte aufnehmen, weil, wie früher gezeigt wurde, die Lichtvertheilung in den Zerstreuungskreisen wegen der Farbenabweichung vom Centrum nach der Peripherie rasch abnimmt.

Wenn man parallele weisse Striche mit schwarzen Zwischenräumen aus solcher Entfernung betrachtet, dass die Breite des Zwischenraumes nahezu unter jenem Grenzwinkel erscheint, dann zeigt sich ehe das völlige Verschwimmen der Striche ineinander eintritt, eine eigenthümliche Erscheinung. Die einzelnen Striche erscheinen nämlich stellenweise knotig angeschwollen oder geknickt, wie es in Fig. 45 unter *A* angedeutet ist. Bisweilen erscheint auch die ganze Figur mehr schachbrettartig gemustert. BERGMANN, der diese Erscheinung zuerst beschrieben hat, giebt derselben die Deutung, welche in Fig. 45 durch die Zeichnung unter *B* erläutert wird. Die Sechsecke sollen

das Zapfenmosaik andeuten und man sieht, dass wenn ein Streifenbild darauf entworfen wird, bei der gehörigen Kleinheit ein schwarzer Streif bald auf einen Zapfen beschränkt bleibt, bald sich auf zwei vertheilt, wo dies letztere der Fall ist, wird der Streif breiter erscheinen. Wenn gar benachbarte Zapfen von zwei benachbarten schwarzen Streifen theilweise bedeckt werden, so müssen hier die benachbarten Streifen zusammenzufliessen scheinen, was, wenn es häufig vorkommt, den schachbrettartigen Anblick hervorbringen kann.

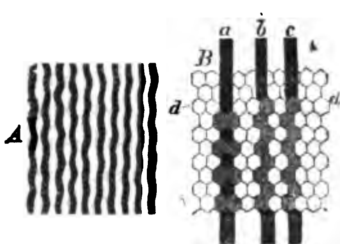


Fig. 45.

Auf den Seitentheilen der Netzhaut müssen zwei Bilder viel weiter auseinanderliegen als auf dem gelben Fleck, wenn sie als getrennt wahrgenommen werden sollen. Die ersten eingehenden Untersuchungen über diesen Gegenstand sind von Aubert und Förster angestellt. Sie rückten ein aus zwei schwarzen Punkten auf hellem Grunde bestehendes Objekt so lange vom fixirten Punkte weiter weg, bis die beiden Punkte nicht mehr als getrennt wahrgenommen werden konnten und zwar führten sie solche Prüfungen in verschiedenen Meridianrichtungen aus. Für zwei Punkte von je 2,5 mm. Durchmesser deren Mittelpunkte sich in 14,5 mm. Abstand voneinander befinden, stellt Fig. 46 das Ergebniss der Messung graphisch dar.

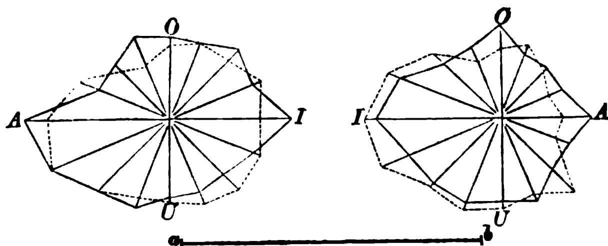


Fig. 46.

Die Linie *ab* giebt den Maassstab insofern sie den senkrechten Abstand des Auges von der Tafel bedeutet, auf welcher das aus jenen beiden Punkten bestehende Objekt verschoben wurde. Im wirklichen Versuche betrug dieser Abstand (das Fünffache von *ab*) 200 mm. und es wurde stets derselbe und zwar der am Auge nächste Punkt der Tafel fixirt. Die sternförmig auseinander laufenden Linien bedeuten die Schnittlinien der verschiedenen Meridianebenen des Auges mit der Ebene der Tafel, ihr gemeinsamer Schnittpunkt ist also der fixirte

Punkt. Die Länge eines Strahles bis zur Umfangslinie misst in 1/5 der natürlichen Grösse wie weit die der betreffenden Meridianrichtung das Objekt vom fixirten Punkte verschoben werden musste, damit die beiden Punkte nicht mehr als getrennte wahrnehmbar waren. Die beiden ausgezogenen Umfangslinien beziehen sich auf AUBERT's, die beiden punktirten auf FORSTER's rechtes und linkes Auge. Die Buchstaben an der wagrechten Linie *I* und *A* bezeichnen die Innen- oder Nasenseite und die Aussen- oder Schläfenseite, *O* und *U* bedeuten oben und unten. Die eingeschlossenen Figuren sind also geradezu Theile des Gesichtsfeldes innerhalb dessen genau genug gesehen wird, um in etwa 200 mm. Abstand zwei 14,5 mm. voneinander entfernte Punkte als getrennte wahrzunehmen. Man sieht dass dieser Theil des Gesichtsfeldes im wagrechten Meridian weiter ausgedehnt ist als im senkrechten.

Nachstehende Tabelle giebt die Resultate noch einiger Versuche mit anderen ähnlichen Objekten, welche auf einer Tafel in derselben Entfernung betrachtet wurden. Die erste Spalte giebt die Entfernung der das Objekt bildenden Punkte von einander, die zweite den Durchmesser des einzelnen Punktes. In der dritten Spalte ist angegeben, wie weit das Objekt unter den durch die Zahlen der beiden ersten Spalten gegebenen Bedingungen vom Fixationspunkt weggerückt werden musste, um nicht mehr als aus zwei getrennten Punkten bestehend erkannt zu werden. Jede Zahl dieser letzten Spalte ist aber das Mittel aus allen den Messungen, welche in 8 verschiedenen Meridianrichtungen gemacht sind.

Entfernung der beiden Punkte von einander.	Durchmesser der Punkte.	Entfernung des Objektes vom fixirten Punkte.
3,25 mm.	1,25 mm.	31 mm.
6,5 „	2,5 „	50 „
9,5 „	3,75 „	55 „
12 „	1,25 „	60 „
14,5 „	2,5 „	65 „
20,5 „	3,75 „	77 „

Bei diesen Versuchen bemerkten AUBERT und FÖRSTER öfters blinde Stellen auf ihren Netzhäuten und zwar in ganz bestimmter Lage, so dass die Objekte jedesmal wieder verschwanden, so wie ihre Bilder wieder auf diese Stellen fielen. Ausserdem verschwanden die Objekte allerdings auch öfters nur zeitweise hier oder dort in Folge von momentaner Blendung.

Die beiden genannten Forscher haben über die Feinheit des

Ortsinnes der Netzhaut noch Versuche angestellt, die zwar nicht so unmittelbar eine Vorstellung von der Grösse der empfindenden Einheiten geben, aber doch auch von grossem Interesse sind. Sie betrachteten nämlich bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken Tafeln auf denen Buchstaben und Zahlen in einer dem Beobachter völlig unbekannten Anordnung geschrieben standen, und notirten wie viele davon auf einen Blick, also ohne Aenderung der Fixationsrichtung erkannt werden konnten.[1]

Es zeigte sich bei diesen Versuchen wie zu erwarten war, dass, je grösser der Gesichtswinkel, unter welchem je eine Zahl erschien — je grösser also das Netzhautbild derselben war, um so weiter seitwärts vom gelben Fleck konnte sie noch erkannt werden. Doch hatte merkwürdigerweise auch die absolute Entfernung der Prüfungsobjekte einen Einfluss. Wurde nämlich aus gewisser Entfernung eine Zahl von bestimmter Grösse in einem gewissen Winkelabstande vom fixirten Punkte noch eben erkannt, so hätte man erwarten sollen, dass eine doppelt so grosse Zahl in doppelter Entfernung bei demselben Winkelabstand vom fixirten Punkte zu erkennen gewesen wäre, da ja ihr Netzhautbild jetzt ebensogross war und auf derselben Netzhautstelle lag, wie vorhin das der halb so grossen Zahl. Dies war aber nicht der Fall. Die doppelt so grosse und doppelt entfernte Zahl musste von dem fixirten Punkte auf der Objektebene einen viel kleineren als den doppelten Abstand haben um erkannt zu werden, oder der Winkel zwischen der Fixationsrichtung und dem Richtungsstrahl zum Mittelpunkte der Zahl musste bedeutend kleiner sein. Durch Versuche mit einfacheren Objekten hat später Aubert dieses bemerkenswerthe Ergebniss noch bestätigt und es kann kaum daran gedacht werden, dass es auf Täuschung oder Beobachtungsfehlern beruht. Eine Erklärung für diese räthselhafte Erscheinung ist bis jetzt nicht versucht worden.

Die Bestimmung der Sehschärfe oder der Fähigkeit der Netzhaut benachbarte Punkte zu unterscheiden, ist eine wichtige Aufgabe des praktischen Augenarztes der zu diesem Zwecke bequemer Methoden und einer verabredeten Maasseinheit bedarf, um die Sehschärfe verschiedener Individuen und verschiedener Zonen derselben Netzhaut numerisch auszudrücken. Als praktische Methode wird heutzutage allgemein das Vorlegen von Schriftproben in verschiedener Grösse und Entfernung angewandt. Die Schriftproben bestehen aus Buchstaben deren Dicke $1/5$ ihrer Höhe beträgt. Als Einheit der

1 Aubert, Beiträge zur Kenntniss des indirekten Sehens. Molesch. Unters. IV. 1858.

Sehschärfe ist diejenige angenommen, bei welcher solche Buchstaben erkannt werden, wenn ihre Höhe unter einem Gesichtswinkel von 5′ erscheint. Als Maass jeder beliebigen Sehschärfe dient dann der Quotient

$$V = \frac{d}{D}$$

wenn d der Abstand ist, bei welchem das geprüfte Individuum die betreffende Schrift lesen kann und D der Abstand, bei welchem ihre Buchstabenhöhe eben unter einem Gesichtswinkel von 5′ erscheinen würde. Vorausgesetzt wird dabei, dass das geprüfte Auge für den Abstand d genau eingestellt ist, nöthigenfalls mit Hülfe einer Linse. Die bequeme Ausführung dieser Bestimmungen, die mit der Sehweitebestimmung Hand in Hand gehen, findet man beschrieben in den Darstellungen der praktischen Augenheilkunde.[1]

Die sämmtlichen vorstehend beschriebenen Thatsachen zeigen, dass die Netzhauttheile, deren Reizung je eine und von jeder andern unterscheidbare Empfindung verursacht — die sogenannten Empfindungskreise — um so grösser werden, je weiter man sich von der fovea centralis entfernt. Diese Thatsache haben manche Autoren dahin gedeutet, dass nicht alle Elemente der äussersten Netzhautschicht durch Licht reizbar seien, sondern bloss die sogenannten Zapfen, die in der That im gelben Fleck dicht gedrängt stehen, während sie gegen den Rand der Netzhaut immer spärlicher zwischen den Stäbchen vertheilt sind. Es käme somit allerdings je ein empfindliches Element auf ein immer grösseres Flächenstück, je weiter es vom gelben Fleck abliegt. Nun sind aber die Zapfen in den Seitentheilen der Netzhaut so spärlich vertheilt und zwischen ihnen sind so grosse bloss mit Stäbchen besetzte Strecken, dass unzählige Male Bilder kleiner Objekte bei kleinen Bewegungen bald auf Zapfen bald auf zapfenfreie, also unerregbare Flächenstücke fallen, also bald auftauchen, bald verschwinden müssten. Diese Erscheinung beobachtet man, wie schon erwähnt, bisweilen aber doch bei weitem nicht so häufig, wie es bei dem anatomischen Bau der äusseren Netzhautschicht unter der in Rede stehenden Annahme zu erwarten wäre.

Man hat daher neuerdings meistens der Annahme den Vorzug gegeben, wonach auch die Stäbchen durch Lichtstrahlen reizbar sind. Die grössere Ausdehnung der Empfindungskreise auf den Seitentheilen der Netzhaut hätte man alsdann dadurch zu erklären, dass man annimmt, dass immer nur eine ganze Gruppe von reizbaren Elementen

1 Siehe z. B. Handbuch der gesammten Augenheilkunde III. 1. Theil. Leipzig 1874. Eidoptometrie von Snellen & Landolt.

nur mit je einem Elemente des Nervensystems in Verbindung steht, dessen Erregungszustand in der inneren Anschauung als individuelle von anderen unterschiedbare Empfindung auftritt. Man könnte etwa daran denken, dass immer je ein Zapfen mit der ihn umgebenden Stäbchengruppe mit je einem empfindenden Elemente verbunden ist, einen Empfindungskreis bildet. Das Bewusstsein könnte alsdann nicht unterscheiden, ob diese oder jene oder ob alle Elemente dieser Gruppe gereizt sind.

Die vorstehend entwickelte Annahme, dass die äusserste Schicht der Netzhaut die reizbaren Elemente führt, hat vom teleologischen Gesichtspunkte aus etwas widerstrebendes, wenn man bedenkt, dass die Lichtstrahlen erst eine Reihe von Schichten nervöser Elemente durchsetzen müssen, ehe sie die beabsichtigte Wirkung hervorbringen. Die Gründe für die Annahme sind aber so zwingender Art, dass man den scheinbaren Widerspruch gegen die sonst allgemein vorausgesetzte Zweckmässigkeit hinnehmen muss.

Gewichtiger dürfte ein anderes Bedenken gegen die Annahme sein, dass die eigentlichen Stäbchen und Zapfen im engeren Sinne des Wortes die reizbaren Elemente sind, das sich gleichfalls vom teleologischen Standpunkte aus machen lässt. Die Körper der Stäbchen und Zapfen, insbesondere deren Aussenglieder die neuere Histologen besonders gern als die Angriffspunkte des Reizes ansehen, stehen an Durchsichtigkeit kaum hinter den übrigen Theilen der Netzhaut zurück. Von einer durch Licht reizbaren Substanz muss man aber offenbar einen gewissen Grad von Undurchsichtigkeit verlangen. In der That, wenn an einer Stelle eines Mediums ein Zug von Aetherwellen eine chemische oder thermische Wirkung ausüben soll, so muss diese Stelle so beschaffen sein, dass nicht die gesammte kinetische Energie der ankommenden Oscillationen auf die angrenzende Schicht als solche übertragen wird, d. h. die Stelle muss etwas von dem auffallenden Lichte absorbiren. Wenn neuerdings der Plättchenstruktur[1] der Aussenglieder von Stäbchen und Zapfen die Aufgabe zugeschrieben ist durch Interferenz auffallender und reflektirter Strahlen dies Zurückbehalten von Oscillationsenergie zu bewirken, so dürfte dies auf ein Missverständniss der Interferenz hinauslaufen. Das was man in der physikalischen Lehre von den Strahlungen Absorption nennt, ist zur Erklärung von Wirkungen auf die ponderabelen Stoffe gar nicht zu umgehen.

Nun kann man freilich daran erinnern, dass es sich hier nur

---

1 Siehe Seite 146.

um die Arbeit handelt, welche zum Auslösen stärkerer (chemischer) Kräfte erforderlich ist, die ihrerseits hernach unvergleichlich mehr Arbeit leisten als zu ihrer Auslösung gehörte. Dazu könne vielleicht schon der 100. Theil der Energie der auffallenden Strahlung genügen, während 99/100 als solche weiter fortgepflanzt würden. Hiergegen lässt sich aber einmal einwenden, dass die von den Strahlen in der reizbaren Netzhautschicht zu leistende Arbeit denn doch nicht eine so einfache Auslösungsarbeit sein kann, wie etwa das Ausheben des Sperrhakens aus einem Uhrwerke, da die von den ausgelösten Kräften geleistete Erregungsarbeit der auslösenden Reizarbeit innerhalb weiter Grenzen ziemlich genau proportional ist. Andererseits ist schon früher hervorgehoben, welchen ungeheuer kleinen Werth die ganze Energie einer Strahlung zu besitzen braucht, um eine sehr merkliche Wirkung hervorzubringen. Wenn wir in dichtem Waldesschatten bei mässigem Mondschein ein gelbes Blatt am Boden sehen, sollen wir da wirklich annehmen, dass nur ein ganz kleiner Bruchtheil von der Energie der Strahlung dieses Blattes, der von der reizbaren Schicht eben absorbirt wird genügt, die Erregungsarbeit auszulösen, während vielleicht 99/100 der Strahlung unbenutzt weiter gehen, um erst im todten Pigmente absorbirt zu werden?

Das Paradoxe aller dieser Consequenzen zugebend könnte man einwenden: Die photographisch empfindlichen Stoffe sind ja auch meist durchsichtig und es genügt auch bei ihnen der ganz kleine absorbirte Bruchtheil der Strahlung, die chemische Arbeit zu leisten. Dieser Einwand trifft aber die Sache nur scheinbar, die photographisch empfindlichen Substanzen reagiren ja in der That auf das stark sichtbare Licht vom Roth bis zum Blau, das sie fast ungeschwächt durchlassen, nur sehr schwach und stark auf die ultravioletten Strahlen, die vielleicht vollständig von ihnen absorbirt werden. Die reizbare Substanz der Netzhaut dagegen reagirt am stärksten auf das sichtbare Licht, das eben hierdurch zum sichtbaren wird und dieses muss also am meisten von ihr absorbirt werden, oder wenigstens hat die etwaige Absorption unsichtbarer Strahlen für die Erregung keine Bedeutung.

Nach Allem diesem muss es höchst auffällig erscheinen, dass die allgemein als die durch Licht reizbare angesprochene Substanz durchsichtig ist. Ganz so durchsichtig, wie man früher anzunehmen pflegte sind zwar keineswegs die reizbaren Schichten der Netzhaut, denn sie erscheinen im durchfallenden Lichte oft purpurroth, absorbiren also in der That einen sehr merklichen Bruchtheil des bekanntlich gerade sehr stark reizend wirkenden grünen und gelben Lichtes.

Mir scheint aber selbst diese Absorption noch nicht genügend, um die Reizbarkeit durch die schwächsten Strahlungen erklärlich zu finden und ich würde mich nicht wundern, wenn über kurz oder lang nachgewiesen würde, dass die stark pigmentirten und daher stark absorbirenden Anhangsgebilde der Stäbchen und Zapfen die eigentlichen Angriffspunkte des Lichtreizes sind. Eine Stütze dieser Vermuthung finde ich in der von Alters her bei den Zoologen bestehenden Neigung stark pigmentirte mit Nervenenden versehene Flecken an der Oberfläche niederer Thiere ohne Weiteres für Licht percipirende Organe zu erklären.

DRITTES CAPITEL.

Qualität der Lichtempfindungen.

I. Allgemeine Betrachtungen.

Die Physiologie als Naturwissenschaft sollte eigentlich lediglich auf dem Standpunkte der äusseren Anschauung stehen d. h. sich mit den Vorgängen am Organismus beschäftigen sofern sie einem fremden Beobachter erscheinen. Diesem können sie aber nur erscheinen als Bewegungen der materiellen Theilchen verursacht durch die Kräfte, mit welchen dieselben auf einander wirken oder mit welchen andere materielle Theilchen auf jene einwirken. So sind wir denn auch bis jetzt im Grossen und Ganzen verfahren indem wir die Aetheroscillationen nach den Grundsätzen der Mechanik in den durchsichtigen Medien des Auges verfolgten und schliesslich wahrscheinlich zu machen suchten, dass diese Oscillationen in der hintersten Netzhautschicht Bewegungen oder Umlagerungen der ponderabelen Theilchen verursachten. Wollten wir nun auf diesem Wege weiter gehen, so wäre zu untersuchen, wie sich von den zunächst chemisch — das ist doch immer im weiteren Sinne des Wortes mechanisch — in Bewegung gesetzten Körper ein weiterer Bewegungsvorgang nämlich der nervöse Erregungsprocess längs gewisser Leitungsbahnen fortpflanzt. Wir müssten diesen Leitungsbahnen ins Nervencentralorgan folgen und würden etwa finden wie sich da dem in Rede stehenden Processe labyrinthisch verschlungene Bahnen eröffneten, wie er hier bleibende Veränderungen hervorruft, wie er vielleicht dort erlischt unter

dem Einflusse von Widerständen, wie er nach anderen Orten vielleicht noch unterstützt durch ähnliche von anderen Seiten kommende Processe kräftig weiter schreitet und zuletzt auf einer motorischen Bahn zu einer Muskelgruppe gelangt, in welcher er wieder neue Molekularkräfte auslöst deren Wirkung eine äussere Arbeit ist.

Diese eigentlich naturwissenschaftliche Zergliederung der weiteren Wirkungen der Lichtstrahlen im Organismus kann aber bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse vom Wesen der Nervenerregung und vom anatomischen Zusammenhange der nervösen Elemente gar nicht einmal versucht werden. Wir müssen daher, wenn wir den Wirkungen des Lichtes überhaupt noch weiter nachgehen wollen, als bisher geschehen ist, nothwendig den Standpunkt der äusseren Anschauung verlassen, und uns auf den Standpunkt des Subjektes stellen, dessen Auge von den Lichtstrahlen getroffen wird. Dies gilt nicht nur beim Gesichtssinne, sondern auf allen Sinnesgebieten. Sowie die Zergliederung der Erscheinungen über das allererste, was bis zur und bei der Reizung der Nervenenden objektiv zu beobachten ist, hinausgehen soll, so muss man sich auf den subjektiven oder auf den Standpunkt der inneren Anschauung stellen, und hat dies auch stets gethan, so lange eine wissenschaftliche Untersuchung der Sinne getrieben wird.

In dem Bewusstsein des Subjektes, dessen Sinnesnervenenden gereizt werden, tritt der Zustand ein, den wir eine „Empfindung“ nennen. Es kann nicht genug eingeschärft werden, dass Empfindung wie Bewusstsein überhaupt lediglich Gegenstände der inneren Anschauung sind. In einem von aussen angeschauten Naturkörper ist Bewusstsein oder ein bestimmter Empfindungszustand desselben gar nie wahrzunehmen und sei dieser Naturkörper auch ein lebender menschlicher Körper. Je genauer man die Vorstellung von einem solchen äusseren Körper wissenschaftlich ausbildet, um so mehr löst sie sich auf in dic eines Aggregates von materiellen Theilchen, welche rein mechanisch auf einander wirken. Die Annahme, ein fremder Naturkörper könne oder müsse die Erscheinungsform eines dem unsrigen ähnlichen Bewusstseins sein, beruht lediglich auf der Bemerkung, dass die gesehenen Bewegungen des fremden Körpers grosse Aehnlichkeit haben mit den uns ebenfalls auch objektiv erscheinenden Bewegungen des eigenen Körpers, welche unsere Empfindungen begleiten.

Durchmustern wir nun unsere Empfindungen wie sie sich uns im Verlaufe der Zeit auf den verschiedenen Sinnesgebieten in unendlicher Mannigfaltigkeit darbieten, so lässt sich vor Allem bemerken,

dass diese mehr jene weniger die Aufmerksamkeit an sich zieht und andere von derselben ausschliesst. Dies mehr oder weniger giebt der Empfindung den Charakter der mathematischen Grösse. Ja es lässt sich behaupten, dass die Empfindung oder genauer gesagt die Intensität, mit welcher sie sich im Bewusstsein geltend macht, das eigentliche Vorbild der mathematischen Grösse ist. Beruht doch die Grössenschätzung in allen Erfahrungsgebieten auf der Vergleichung von Empfindungsintensitäten. Hiervon ist die Schätzung räumlicher Ausdehnungen nicht auszunehmen, da sie höchst wahrscheinlich in der Vergleichung von Empfindungen beruht, welche die Muskelbewegungen begleiten. Bloss die Vorstellung von der Grösse einer Anzahl dürfte auf einem anderen Grunde ruhen nämlich auf der Fähigkeit zu verschiedenen Zeiten auftretende Empfindungen von einander in der Erinnerung schlechthin als individuell verschieden zu erkennen.

Bei weiterer Zergliederung unserer Empfindungen gewahren wir aber, dass solche auch noch dann möglicherweise unterschieden werden können, wenn sie an Intensität einander völlig gleich sind. Z. B. unterscheiden wir eine Schallempfindung von einer Lichtempfindung. Es giebt also ausser der quantitativen noch eine wesentlich andere Art der Unterscheidung von Empfindungen, die man etwa als eine „qualitative“ bezeichnen könnte, wenn auch mit diesem Ausdrucke nichts über das Wesen der Sache ausgesagt ist. Nach den jetzt — und wohl mit Recht — herrschenden Anschauungen vom Zusammenhange der Bewusstseinszustände mit Vorgängen im Nervensysteme wird man mit apodiktischer Gewissheit den Satz aussprechen können, dass zwei Empfindungen nur dann qualitativ unterscheidbar sind, wenn individuell verschiedene Elemente des Nervensystems erregt sind. Mit andern Worten die wiederholte Erregung desselben Nervenelementes kann nur eine Wiederholung desselben Zustandes des Bewusstseins zur Folge haben an dem lediglich verschiedene Grade unterscheidbar sind. Eine andere als eine rein quantitative Unterscheidung der Empfindungen kann bei wiederholter Reizung desselben Nervenelementes nie stattfinden. Werden dagegen gleichzeitig oder nacheinander verschiedene Elemente gereizt, so macht sich eben jener ganz anders geartete Unterschied der Empfindungen im Bewusstsein geltend, der gar keine Analogie mit einem Unterschiede des Grades hat. Gehören die beiden Nervenelemente einem Sinnesgebiete an, bei welchem es durch Bewegung des Organes leicht möglich ist bald dies bald jenes Element demselben Reize darzubieten, so tritt der in Rede stehende nicht quantitative Unterschied im Bewusstsein auf als Vorstellung einer verschiedenen Oertlichkeit im Raume. Dies gilt

in ganz ausgezeichneter Weise bekanntlich vom Tastsinne und vom Gesichtssinne.

Wesentlich anders gestaltet sich die Sache bei einem Sinnesorgane, wo wir es nicht in der Gewalt haben durch Bewegungen bald den einen bald den anderen Theil der Nervenperipherie dem Reize darzubieten. Hier ist keine Gelegenheit, die einzelnen unterscheidbaren Empfindungen, welche den Reizungen der verschiedenen Elemente entsprechen, verknüpfen zu lernen mit Ortsvorstellungen, welche mit Hülfe von Bewegungsempfindungen in die Raumanschauung hineinkonstruirt sind. Die Erregung der individuell verschiedenen Nervenelemente eines solchen Sinnesgebietes kann daher nicht mit der Vorstellung einer verschiedenen Oertlichkeit verbunden sein, obwohl die gereizten Nervenelemente objektiv betrachtet wirklich an verschiedenen Orten liegen. Davon kann aber aus dem angeführten Grunde das subjektive Bewusstsein keine Kenntniss haben. Hier bedingt vielmehr die individuelle Verschiedenheit der erregten Elemente einen rein qualitativen Unterschied des Empfindens im Gegensatze zum lokalen. Welche Elemente einer so gelagerten Sinnesnervenperipherie im einzelnen Falle gereizt werden, das wird nun nicht abhängen von der Richtung, aus welcher der reizende Vorgang herkommt, sondern nur etwa noch von der besonderen Beschaffenheit desselben, indem die verschiedenen Nervenenden mit verschieden gearteten Gebilden in Zusammenhang stehen, von denen die einen durch diesen die andern durch jenen Vorgang vorzugsweise in Thätigkeit gesetzt werden.

Organe der beschriebenen Art sind sehr wahrscheinlich das Gehör- und das Geruchsorgan. Was das erstere betrifft, so ist bekanntlich eine von Helmholtz fein ausgebildete Theorie seiner Funktion in weiten Kreisen anerkannt, mit welcher die soeben entwickelten Grundsätze in vollem Einklang sind. Aehnlich wird man beim Geruchsorgan anzunehmen haben, dass je nachdem der eine oder der andere Riechstoff mit der Riechschleimhaut in Berührung kommt, bald mehr die einen bald mehr die anderen Nervenfasern erregt werden, dass aber gleichwohl nur qualitativ und nicht lokal verschiedene Empfindungen entstehen, weil jedem Reiz an sich die ganze Nervenperipherie zugänglich ist, und wir es durchaus nicht in der Gewalt haben, bald den einen bald den anderen Theil derselben dem Reize auszusetzen.

Zwischen diesen Sinnen und den geometrischen Sinnen steht das Geschmacksorgan, wo der Reiz durch willkürliche Bewegungen lokalisirt werden kann, wo aber ausserdem noch Vorrichtungen gegeben zu sein scheinen, vermöge deren je nach der Natur des Reizes bald

diese bald jene räumlich nahe benachbarte Elemente vorzugsweise angesprochen werden. Hier unterscheiden wir auch in der That sowohl lokal als auch im engeren Sinne des Wortes qualitativ.

Die Mannigfaltigkeit qualitativer Unterschiede zwischen den Empfindungen eines Sinnesgebietes wird nun noch weit über die blosse Anzahl der individuellen Nervenelemente hinaus gesteigert durch die Combination verschiedener Elementarempfindungen zu Gruppen, welche im Bewusstsein zu mehr oder weniger unauflöslichen Einheiten zusammengefasst werden. Die beste Erläuterung dieses Satzes bietet der Tastsinn. Wir wollen zwei Elemente desselben betrachten und annehmen, die Reizung jedes Einzelnen davon führe zu Empfindungen, die, abgesehen vom qualitativen und lokalen, keinen weiteren Unterschied erkennen liessen. Nun fassen wir aber den Zustand des Bewusstseins (die Doppelempfindung) ins Auge, welche entsteht, wenn beide Elemente gleichzeitig gereizt werden, dann eröffnet sich, abgesehen vom quantitativen Werthe und der begleitenden Ortsvorstellung die Aussicht auf eine unendliche Mannigfaltigkeit dieser Doppelempfindung indem denkbar ist, dass sich jeder Grad der einen Elementarempfindung mit jedem Grade der anderen kombiniren lässt. Noch grösser wird die Mannigfaltigkeit, wenn wir Gruppen aus mehr als zwei Elementen bilden, wie sie bei wirklichen Reizungen des Tastsinnes meist gegeben sind. So haben wir z. B. in der That ganz verschieden geartete Empfindungen, wenn wir dieselbe Fingerspitze das eine Mal an eine glatte das andere Mal an eine rauhe Oberfläche anlegen, offenbar weil im ersteren Falle alle betheiligten Elemente ziemlich gleich stark erregt sind im anderen Falle aber zwischen stark erregten Elementen schwach erregte in gewisser Weise vertheilt sind. Dass auch die Unterscheidung der sogenannten Wärme- und Kälteempfindung auf dasselbe hinausläuft, nämlich auf den Charakter der Gruppirung zahlreicher an sich übereinstimmender Empfindungselemente, habe ich vor vielen Jahren bereits experimentell erwiesen Das wesentliche der Beweisführung besteht darin, dass, wenn man nur möglichst wenige Hautnervenfasern reizt, so dass kein Charakter der Gruppirung verschieden starker Empfindungen mehr erkennbar ist, auch nicht mehr unterschieden werden kann, ob die Reizung durch Wärmestrahlung oder durch Berührung geschah. An eine principiell andere Erklärung des Unterschiedes zwischen Temperaturempfindungen und der Druck- oder Berührungsempfindungen kann wohl kaum gedacht werden, denn dass durch leise Berührung und durch Temperaturänderung der obersten Hautschichten ganz dieselben Nervenenden angesprochen werden, kann schwerlich in Zweifel gezogen

werden. Es geht dies namentlich aus der Thatsache hervor, dass breite Hautnarben des Temperaturgefühls und des Berührungsgefühles entbehren, wohl aber noch Empfindlichkeit für stärkere Druckgrade besitzen, die offenbar auch auf tiefer im Gewebe sitzende Nervenenden wirken.

Der ganzen vorstehenden Erörterung liegt — und dies mag noch einmal ausdrücklich hervorgehoben werden — die Vorstellung zu Grunde, dass die Unterscheidbarkeit gleich starker durch verschiedene Nervenindividuen vermittelter Empfindungen nicht etwa bedingt ist durch die verschiedene chemische Beschaffenheit der beiden Nervenindividuen sondern auf der blossen numerischen Verschiedenheit derselben, womit jeder Erklärungsversuch ohne weiteres ausgeschlossen ist. Um diesen Gedanken noch deutlicher hervortreten zu lassen, wollen wir uns vorstellen zwei lebende menschliche Körper stimmten in einem Augenblicke Atom für Atom überein nicht nur was die gegenseitige Lage, sondern auch was Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit betrifft. Hier würden wir es ohne Zweifel doch noch mit zwei numerisch verschiedenen Personen zu thun haben, deren jede ihr eigenes Bewusstsein hätte. Auf dasselbe Princip gründen wir die Unterscheidbarkeit der Bewusstseinszustände, wenn zwei numerisch verschiedene Nervenindividuen — mögen sie verschiedenartig oder gleichartig sein — gereizt sind. Es ist dies — wie mir scheint — der konsequent durchgeführte Gedanke der „specifischen Energieen", welcher seit J. Müller ein Grundpfeiler der Physiologie der Sinne geworden ist.

Wir hätten somit eigentlich jedem individuellen Nervenelemente eine besondere specifische Energie zuzuschreiben. Nun zeigt sich aber thatsächlich der Unterschied zwischen zwei Bewusstseinszuständen nicht immer gleich gross, wenn zwei Nervenelemente erregt werden. Es ist vielmehr nach allgemeiner Meinung der Unterschied in der Empfindungsqualität bedeutend grösser, wenn zwei Nervenelemente erregt sind, von denen eines dem acusticus und eines dem opticus angehört als wenn die beiden Nervenelemente solche des opticus sind. Die gegenwärtig herrschende Ansicht über diesen wichtigen Punkt der Sinnesphysiologie hat sehr klar Helmholtz[1] ausgesprochen indem er sagt:

„Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen „zwei verschiedene Grade des Unterschiedes vor. Der am tiefsten „eingreifende ist der Unterschied zwischen Empfindungen, die ver-

1 Helmholtz, Die Thatsachen in der Wahrnehmung. S. 8 u. 9. Berlin 1879.

„schiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süss, hochtönend, „ich habe mir erlaubt diesen als Unterschied in der „Modalität“ „der Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, dass er jeden „Uebergang vom einen zum anderen, jedes Verhältniss grösserer oder „geringerer Aehnlichkeit ausschliesst. Ob z. B. süss dem Blau oder „Roth ähnlicher sei, kann man gar nicht fragen. Die zweite Art des „Unterschiedes die minder eingreifende, ist die zwischen verschiede- „nen Empfindungen desselben Sinnes. Ich beschränke auf ihn die „Bezeichnung des Unterschiedes der Qualität. J. G. Fichte fasst „diese Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreise und „bezeichnet, was ich eben Unterschied der „Qualität“ nannte als „Unterschied der Qualitätenkreise. Innerhalb jedes solchen Kreises „ist Uebergang und Vergleichung möglich. Von Blau können wir „durch Violett, Carminroth in Scharlachroth übergehen und z. B. aus- „sagen, dass Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei als dem Blau.“

Die hier als unmittelbar im Bewusstsein gegeben angenommenen Thatsachen kann ich nicht als solche anerkennen. Es giebt unzweifelhaft Fälle, wo zwischen Empfindungen verschiedener Sinnesgebiete ebenso stetige Uebergänge möglich sind wie zwischen Blau und Roth durch Violett und Purpur. Die brennende Empfindung z. B. welche der Pfeffer auf der Zunge erzeugt gehört bekanntlich entschieden dem Tastsinne an, während die Empfindung, welche Kochsalzlösung daselbst hervorbringt eine Geschmacksempfindung ist. Nun wird aber Niemand zweifeln, dass man einen vollkommen stetigen Uebergang zwischen diesen beiden zweien Sinnesgebieten angehörigen Empfindungen (denen nach Helmholtz's Bezeichnungsweise verschiedene Modalität zukommt) herstellen könnte, wenn man eine Reihe von Gemengen aus Pfefferextrakt und Kochsalzlösung nacheinander auf die Zunge brächte, in denen der Gehalt am einen Bestandtheil von 0 bis 1 variirte. Auch würden ohne Zweifel unter den verschiedenen so erzeugten Gesammtempfindungen einige mehr andere weniger von einander verschieden erscheinen.

Die allerdings nicht wegzuleugnende Thatsache des Bewusstseins, dass im Allgemeinen die Empfindungen desselben Sinnesgebietes einen gemeinsamen Charakter zeigen, ist hiernach vielleicht doch nicht ebenso ursprünglich und geheimnissvoll wie die Thatsache dass die Erregung zweier individuell verschiedener Nervenelemente überhaupt zu unterscheidbaren Empfindungen führt. Das Gemeinsame der Empfindungen desselben Sinnes könnte vielmehr erst das Resultat der Gewöhnung im Lebenslaufe des Einzelnen oder der Species sein, die Empfindungen eines Sinnes in verschiedenen Intensitätsgraden sehr

oft gleichzeitig erregt zu finden. In der That sahen wir ja, dass einzelne Empfindungen eines Sinnes sich durch solche Gewöhnung dem Qualitätenkreise eines anderen im Bewusstsein einordnen können, wie z. B. die Gefühlsempfindungen der Zunge den Geschmacksempfindungen. Eine quantitative Vergleichung der Aehnlichkeit verschiedener Empfindungen ist vielleicht überhaupt nur möglich wenn die verglichenen Empfindungen Gemische mehrerer Elementarempfindungen sind, und die Aehnlichkeit eben darauf beruht, dass gemeinsame Elemente vorhanden sind. Sei dem nun, wie ihm wolle, die Wahrheit muss vor allem klar ins Auge gefasst werden, dass am allerwenigsten daran gedacht werden kann, die Verschiedenheit des Charakters der Empfindung aus der Verschiedenheit der normalen adäquaten Reizungsart der verschiedenen Sinne zu erklären. Am deutlichsten zeigt sich die Unhaltbarkeit dieser so zu sagen naiven Anschauung gerade auf dem Gebiete des Gesichtssinnes. Hier nämlich ist es leicht durch mechanischen Druck oder durch elektrische Ströme Sinnesnervenelemente zu reizen und es soll von diesen Reizungen in einem späteren Abschnitte ausführlicher gehandelt werden. Reizt man auf solche nicht adäquate Weise Theile des Sehnervenapparates so kommen bekanntlich stets Lichtempfindungen zu Stande, die sich in ihrem Charakter und Wesen durchaus nicht von solchen unterscheiden, welche durch Strahlung hervorgerufen werden, ein Beweis, dass die Natur der Lichtempfindung mit der Strahlung in keinem nothwendigen ursächlichen Zusammenhange steht, sondern nur dadurch bedingt wird, dass eben Elemente des Gesichtssinnes erregt sind.

II. Die homogenen Farben.

Nachdem durrh die vorstehenden allgemeinen Betrachtungen der Gesichtspunkt festgestellt ist, unter welchem wir die nicht quantitative Unterscheidung von Empfindungen betrachten, wollen wir uns mit der Unterscheidung der Lichtempfindungen und ihrem Zusammenhange mit der verschiedenen Reizungsart der Sehnervenenden beschäftigen. Es fällt vor Allem auf, dass je nachdem diese oder jene Gegend der Netzhaut gereizt wird, die Lichtempfindung einen verschiedenen lokalen Charakter bekommt, d. h. vom Bewusstsein die angenommene Ursache der Empfindung in diese oder jene Gegend des Raumes versetzt wird. Eine weitere Verfolgung der lokalen Unterscheidung der Lichtempfindungen soll hier aber nicht unternommen werden, da dieselbe den Gegenstand eines besonderen Abschnittes dieses Werkes ausmacht, der von der Bildung der Ge-

sichtsvorstellungen handelt. Wenn aber dieselbe Gegend der Netzhaut verschiedene Male gereizt wird, so kann immer noch das Bewusstsein in wesentlich verschiedene Zustände des Lichtempfindens kommen, obwohl die Ursache am selben Orte vorgestellt wird, gerade so wie eine verschiedene Tastempfindung trotz lokaler Uebereinstimmung entsteht, wenn wir mit derselben Fingerspitze einmal einen rauhen einmal einen glatten Körper berühren.

Die so noch qualitativ unterscheidbaren Lichtempfindungen pflegt man schon in der Sprache des gemeinen Lebens durch die Farbennamen zu unterscheiden. Wir wollen zuerst die Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen durchmustern, welche uns bei Reizung der dem Pole benachbarten Netzhauttheile dargeboten wird. Die erste Thatsache, welche sich uns hier schon in der blossen Phantasie darbietet ist, dass diese Mannigfaltigkeit ganz abgesehen von der quantitativen eine unendliche ist, denn zwischen jede zwei verschiedene Farbenempfindungen, z. B. roth und blau kann man ohne die Intensität zu ändern, in stetiger Reihenfolge unendlich viele Zwischenstufen einschalten. Es ist für das Verständniss dieses Satzes, sowie für die weiteren Folgerungen wichtig sich vollkommen darüber klar zu werden, dass die Intensität verschiedener Farbenempfindungen ebensowohl quantitativ vergleichbar ist als die Intensität gleichartiger, und dass es namentlich immer möglich ist z. B. einer Blauempfindung von bestimmter Intensität eine Rothempfindung von genau gleicher Intensität oder „Helligkeit“ an die Seite zu stellen. Dies faktisch auszuführen hat freilich oft grosse Schwierigkeit, weil das Urtheil über das Verhältniss der Intensitäten verschiedenartiger Farbenempfindungen sehr unsicher ist. Uebrigens ist diese Unsicherheit wohl kaum grösser als die der Beurtheilung, welcher von zwei verschiedenen Tönen lauter gehört wird, und doch steht niemand einen Augenblick an, solche Urtheile über die Intensität verschiedener Tonempfindungen täglich hunderte von Malen auszusprechen. Ganz ebenso fällt der unbefangene Mensch derartige Urtheile über die Helligkeit verschiedener Farben, oft sogar mit numerischer Bestimmung des Verhältnisses, indem er z. B. sagt, dies Roth ist wenigstens 10 mal so hell als jenes Blau. Mögen auch solche numerische Angaben in der Regel irrthümlich sein, so liegt doch in ihnen die Anerkennung des in Rede stehenden Principes. Um gar keinen Zweifel mehr übrig zu lassen, stellen wir folgende Ueberlegung an. Wir legen neben ein weisses ein rothes Blatt Papier in gleiche mässige Schattenbeleuchtung; hier wird kein normal sehender Mensch im Zweifel sein, dass das Auge von dem Lichte des weissen Papieres

stärker afficirt ist, oder dass die Weissempfindung stärker ist als die Rothempfindung. Legt man jetzt das rothe Papierblatt in den Sonnenschein während das weisse liegen bleibt, so wird ebensowenig ein Zweifel darüber aufkommen können, dass nunmehr die Rothempfindung stärker ist. Da aber vom zweiten stärkeren Intensitätsgrade der Rothempfindung zu dem ersteren schwächeren ein stetiger Uebergang durch alle Zwischenwerthe möglich ist, so muss es nothwendig darunter einen Grad der Rothempfindung geben, welcher jenem Grade des Weissempfindens genau gleich ist. Wir haben demnach ganz entschieden die Berechtigung uns alle denkbaren Farbenempfindungen in gleicher Intensität vorzustellen und die Mannigfaltigkeit der Qualität ganz für sich ohne alle Einmischung der quantitativen Unterschiede zu betrachten.

Es wird vor Allem zu untersuchen sein, ob vielleicht ähnlich wie auf dem Gebiete des Gehörsinnes bei normaler Reizungsart und normaler Erregbarkeit des Nervenapparates im Allgemeinen jede besondere Farbenempfindung einer besonderen physikalischen Beschaffenheit des Reizes entspricht. Zu diesem Ende ist es gut zunächst den adäquaten Reiz in seinen einfachsten Formen auf das Auge wirken zu lassen und zu sehen, wie geartete Lichtempfindungen alsdann entstehen. In diesen einfachsten Formen bietet uns aber die Natur jenen Reiz nur ausnahmsweise dar. Bei den von leuchtenden oder beleuchteten Naturkörpern ausgehenden Strahlen ist im Gegentheil jeder einzelne Strahl in der Regel ein Gewirre von Aetheroscillationen der verschiedensten Schwingungszahlen und es bedarf daher künstlicher Vorrichtungen um eine Netzhautstelle mit einer Strahlung zu reizen, die einem möglichst einfachen pendelartigen Schwingungszustand entspricht. Einen Strahl aber auf dem sich nur ein einfacher pendelartiger Schwingungszustand fortpflanzt, nennt man bekanntlich in der Physik einen homogenen Lichtstrahl. Dahingegen nennt man einen gemischten Lichtstrahl einen solchen, längs dessen sich gleichzeitig mehrere pendelartige Schwingungen fortpflanzen, deren Schwingungszahlen in der Zeiteinheit verschieden sind. So ist z. B. ein Sonnenstrahl bekanntlich ein sehr gemischter unter dessen Componenten fast alle Schwingungszahlen vertreten sind, die grösser als 370 Billionen und kleiner als 900 Billionen in der Sekunde sind. Die Physik liefert uns nun verschiedene Mittel einen beliebig gemischten Strahl in seine einfachen Componenten fächerartig auszubreiten, so dass sich in verschiedenen Richtungen lauter homogene Strahlen fortpflanzen. Das einfachste und darum gebräuchlichste Mittel zu diesem Zwecke ist die Brechung in einem Prisma aus einer stark

zerstreuenden Substanz. Bei der grossen Wichtigkeit, welche die Herstellung möglichst vollständig reines homogenes Lichtes für die physiologische Optik hat, möge hier kurz das Verfahren, ein sogenanntes reines prismatisches Spektrum zu erzeugen, in Erinnerung gebracht werden.

Man verschafft sich eine feine leuchtende Linie, indem man einen feinen Spalt in der senkrechten Wand eines sonst ganz dunklen Raumes durch eine hinlänglich helle und hinlänglich ausgedehnte Lichtquelle, z. B. durch ein Spiegelbild der Sonne beleuchtet, so dass durch jeden Punkt des Spaltes von den verschiedenen Punkten der Lichtquelle ein Strahl geht und man also hinter dem Spalt ein Strahlensystem hat, welches genau so beschaffen ist, als ob der Spalt aus selbstleuchtenden Punkten bestände. In diese Strahlung stellt man nun in einiger Entfernung in gleicher Höhe mit dem Spalte ein

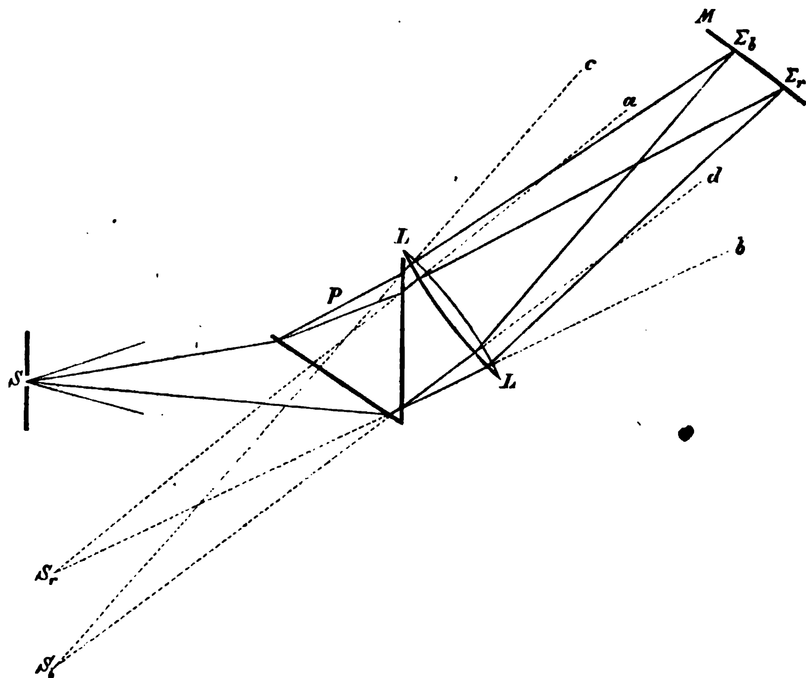


Fig. 47.

Prisma aus stark zerstreuendem Stoffe die brechende Kante senkrecht wie es in Fig. 47 im Grundriss dargestellt ist. Fassen wir nun eines der Strahlenbündel, welches vom Punkte *S* des Spaltes ausgeht ins Auge. Jeder Strahl desselben besteht, wenn es ein Son-

nenstrahl ist aus unzähligen, denselben Weg verfolgenden Strahlen von verschiedener Schwingungszahl. Da aber diesen verschiedene Brechungsindices zukommen, so werden ebensoviele Strahlenbündel aus dem Prisma ausfahren, als verschiedene Schwingungszahlen vertreten sind. Eines z. B. dessen Strahlen die Schwingungszahl 450 Billionen in der Sekunde zukommt, wird wenig abgelenkt und so weiter gehen, als wären seine Strahlen sämmtlich ungefähr vom Punkte S_r ausgegangen. $S_r a$ und $S_r b$ wären also die Richtungen der beiden äussersten Strahlen dieses Bündels. Diese beiden Linien sind aber nur zwischen Prisma und Linse ausgezogen, weil sie nur hier als physische Strahlen bestehen. Ein anderes mit der Schwingungszahl 700 Billionen wird stärker gebrochen und sich so vom Prisma aus fortpflanzen als wäre es vom Punkte S_b ausgegangen. Die Richtungen der beiden äussersten Strahlen dieses Bündels sind $S_b c$ und $S_b d$ in Fig. 47. Die virtuellen Ausgangspunkte der Strahlenbündel von zwischenliegender Schwingungszahl liegen natürlich zwischen den Punkten S_r und S_b in stetiger Reihenfolge. Stellt man jetzt hinter das Prisma eine Linse L, so bringt dieselbe, wenn ihr Abstand von den Punkten S_r und S_b grösser als ihre Brennweite ist, die einzelnen von diesen Punkten aus divergirenden Strahlenbündel zur Convergenz und zwar wenn die Linse eine achromatische ist, alle in ziemlich derselben Entfernung. Stellt man in dieser Entfernung einen Schirm auf, so entstehen also auf demselben ebenso viele Bilder des Punktes S nebeneinander als Strahlenarten verschiedener Schwingungszahl in der Strahlung von S vertreten sind. Ein Bild Σ_b welches den Strahlen von grosser Schwingungszahl entspricht, liegt weiter ab von der verlängerten Richtung SP als ein Bild Σ_r, welches einer Strahlenart von kleinerer Schwingungszahl entspricht. Denn Σ_b ist das Bild des scheinbaren Objektpunktes S_b und Σ_r das des Objektpunktes S_r. Ebenso wie der Punkt S werden sich aber auch die darüber und darunter liegenden Punkte des Spaltes verhalten. Auf dem Schirm M wird also eine senkrechte Linie, welche bei Σ_r die Ebene der Zeichnung schneidet, ausschliesslich von Strahlen beschienen sein, die der Schwingungszahl 450 Billionen entsprechen. Streng genommen beschränkt sich diese Beleuchtung mit der betreffenden homogenen Strahlenart nicht auf eine mathematische Linie, da auch der Spalt nicht eine mathematische Linie ist, die aus bloss übereinander liegenden leuchtenden Punkten besteht. Vielmehr wird ein senkrechtes Streifchen bei Σ_r von dieser homogenen Beleuchtung beschienen sein, doch kann man die Breite dieses Streifchens vernachlässigen, wenn die Breite des Spaltes sehr klein ist. Im Ganzen

wird also auf dem Schirme ein rechteckiges Stück beleuchtet sein und zwar wird jeder senkrechte Strich dieses Rechteckes fast nur von einer homogenen Strahlenart beschienen sein. Besteht der Schirm aus einem nicht fluorescirenden Stoffe dessen Oberfläche alle Lichtarten gleich gut diffus zurückstrahlt, so wird also ein diesen Schirm betrachtendes Auge von allen demselben senkrechten Striche des beleuchteten Rechteckes angehörigen Punkten gleichartige homogene Strahlenbündel zugesandt erhalten. Diesem Auge bietet sich dann das unter Name des prismatischen Sonnenspektrums bekannte Schauspiel dar.

Man kann sich diesen Anblick übrigens auch verschaffen, indem man die Netzhaut selbst als ersten bildauffangenden Schirm benutzt. Am einfachsten kann dies dadurch geschehen, dass das Auge unmittelbar hinter das Prisma gesetzt wird statt der Linse L, deren Funktion der brechende Apparat des Auges übernehmen kann, während die Netzhaut an die Stelle des Schirmes M tritt. Hierbei ist nothwendig, dass das Auge für die Entfernung des Spaltes S eingestellt ist. Auf diese Art erhält man natürlich ein sehr kleines Spektrum auf der Netzhaut, dessen kleine Einzelheiten nicht zu erkennen sind. Man kann aber auch das vielfache physische Bild des Spaltes in der Luft zu Stande kommen lassen und dasselbe aus der Richtung, wohin die Strahlen weiter gehen durch ein Okular betrachten. Dies ist die Anordnung der gebräuchlichen Fernrohrspektroskope. Hier kann man ein sehr vergrössertes Bild des Spektrums erhalten, das oft nicht auf einmal im Okularfeld des Fernrohrs zu übersehen ist. Aus technisch dioptrischen Gründen lässt man dabei meist nicht das Licht vom Spalt direkt auf das Prisma fallen, sondern lässt es zunächst durch eine vor das Prisma gestellte sogenannte Collimatorlinse gehen, welche vom Spalt ein unendlich entferntes virtuelles Bild entwirft, das als eigentliches Objekt anzusehen ist.

Der Anblick des Sonnenspektrums lehrt ohne Weiteres, dass die Reizung einer unermüdeten Netzhautstelle mit homogenen Lichtstrahlen im Allgemeinen einen sehr gesättigten Farbeneindruck macht, d. h. eine Empfindung, welche der bekannten Empfindung des weiss sehr unähnlich ist. Es lehrt ferner, dass dieser Farbeneindruck ein verschiedener ist, je nachdem die Oscillationszahl[1] der wirkenden

1 Eigentlich ist es logisch richtiger einen Lichtstrahl durch seine Schwingungszahl zu charakterisiren, da diese von dem Medium, in welchem er sich gerade fortpflanzt, unabhängig ist. Gleichwohl sollen im Folgenden, wo öfters numerische Bestimmungen vorkommen, die Strahlen auch durch ihre Wellenlängen in der Luft charakterisirt werden, weil deren Werth genauer bekannt ist, und in physikalischen Abhandlungen meist zur Charakteristik benutzt wird.

Strahlen eine verschiedene ist. Um sich bequem im Spektrum zu orientiren und angeben zu können, welche Werthe der Schwingungszahl die durch die Farbennamen bezeichneten Eindrücke hervorbringen, kann man sehr zweckmässig die FRAUNHOFER'schen Linien des Sonnenspektrums verwenden. Bekanntlich sind nämlich im Sonnenlicht gewisse Werthe der Schwingungszahlen nur durch sehr schwache Strahlen vertreten und da also, wo diese Strahlenarten im Spektrum zu suchen sind, zeigt sich ein dunkler Strich. Besonders 7 solcher Striche sind sehr auffällig und werden schon in einem mässig ausgebreiteten Spektrum leicht erkannt, es sind die allgemein mit den grossen lateinischen Buchstaben *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H* bezeichneten FRAUNHOFER'schen Linien. Nachstehende Tabelle zeigt welche Schwingungszahlen und welche Wellenlängen (in Luft) diesen FRAUNHOFER'schen Linien entsprechen.

Bezeichnung der Linie.	Schwingungszahl.	Wellenlänge in Luft.
B	450 Billionen	0,0006878 mm.
C	472 „	0,0006564 „
D	526 „	0,0005888 „
E	589 „	0,0005260 „
F	640 „	0,0004843 „
G	722 „	0,0004291 „
H	790 „	0,0003928 „

Die Betrachtung des Spektrums ergiebt, dass dasselbe etwas jenseits der Linie *B* beginnt und von dieser Grenze an bis etwa zur Linie *C* hin roth aussieht. D. h. also Strahlen, deren Schwingungszahl weniger als 470 Billionen in der Sekunde beträgt, sofern sie überall die Netzhaut reizen, den Eindruck hervorbringen, den man mit „Roth" bezeichnet und zwar ist die Beschaffenheit der Empfindung nicht sehr wesentlich verschieden, je nachdem die Schwingungszahl 440, 450 oder 460 Billionen beträgt. Erst wenn die Schwingungszahl über 470 Billionen wächst, ändert sich die Qualität der Empfindung sehr rasch, sie geht über in Orangegelb und schon bei 526 Billionen Schwingungen der Linie *D* entsprechend ist der Farbeneindruck ein ganz anderer, nämlich der des Gelb geworden. Der Theil des Spektrums um die Linie *E* sieht grün aus und von *D* bis *E* zeigen sich alle Uebergänge von Gelb zu Grün jedoch nur durch sehr schmale Zonen vertreten. Bei *F* beginnt das reine Blau, mit welchem Worte also der Eindruck bezeichnet wird, den Strahlen von etwa 640 Billionen Schwingungen in der Sekunde hervorbringen. Von *F* bis *G* finden sich die Farben, welche den Uebergang von

Blau zu Violett vermitteln, welchen letzteren Eindruck Strahlen hervorbringen, deren Schwingungszahl in der Sekunde 722 Billionen übersteigt. Eine Mittelstufe zwischen Blau und Violett pflegt man in der Kunstsprache der physikalischen und physiologischen Optik noch unter dem besonderen Namen des Indigoblau herauszuheben. Doch ist hierzu eigentlich keinerlei Bedürfniss vorhanden. Weit eher noch liesse es sich rechtfertigen, etwa zwischen Grün und Blau unter dem Namen Meergrün eine Mittelstufe besonders zu bezeichnen, da der Unterschied zwischen Blau und Grün ganz offenbar ein bedeutend grösserer ist, als der zwischen Blau und Violett. In der That ist auch die besondere Hervorhebung des Indigo aus der stetigen Reihe der Farbenempfindungen eine ganz unberechtigte historische Zufälligkeit. Newton hatte nämlich den Einfall, in der Farbenscala gerade 7 Punkte willkürlich festzustellen, weil in der Tonscala im Intervall einer Oktave durch die hergebrachte diatonische Durtonleiter 7 Punkte willkürlich fest gelegt waren. Im Sprachgebrauch fand er nur die 6 Bezeichnungen Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett als brauchbar vor. Dass er nun gerade seinen 7ten Farbenton zwischen Blau und Violett und nicht zwischen Grün und Blau legte, hat wohl nur darin seinen Grund, dass im Sonnenspektrum die blaue und violette Zone viel ausgedehnter sind als die, welche die Uebergänge zwischen Grün und Blau enthält. Dies kann aber vom hier allein maassgebenden physiologischen Gesichtspunkte aus nur als ganz bedeutungslos bezeichnet werden, denn die Unterschiede der Farbenqualitäten sind keineswegs proportional den räumlichen Zwischenräumen, durch welche die entsprechenden Strahlungen im Sonnenspektrum getrennt sind.

Ueber die Grenzen der Fähigkeit des Auges den Farbenton zu unterscheiden, wenn es durch Strahlen von verschiedener Wellenlänge gereizt wird, liegt eine sehr sorgfältige Untersuchung von Mandelstamm[1] und Dobrowolsky vor, deren Ergebnisse in nachstehender Tabelle verzeichnet sind

B	1/115
C	1/167
C—D	1/331
D	1/772
D—E	1/246
E	1/340
E—F	1/615
F	1/740
G	1/272
H	1/146

1 Arch. f. Ophthalmologie XIII. (2) S. 399; XVIII. (1) S. 66.

Die grossen lateinischen Buchstaben der ersten Spalte bedeuten die FRAUNHOFER'schen Linien des Spektrums, in deren Gegend die Unterscheidungsfähigkeit gemessen ist. Die Zahlen der zweiten Spalte geben an, um wieviel sich die Wellenlänge einer Strahlung aus der betreffenden Gegend des Spektrums ändern muss, um einen merklich verschiedenen Farbeneindruck zu machen.

Zum Theil auf dieser verschiedenen Empfindlichkeit des Auges für Differenzen der Wellenlänge in verschiedenen Gegenden des Spektrums beruht die vorhin schon erwähnte Thatsache, dass sich der Farbenton im grünen und gelben Theil am raschesten ändert.

Es fällt bei Betrachtung des Sonnenspektrums ferner auf, dass abgesehen vom qualitativen Unterschiede, der Eindruck des Grünlichgelb bei weitem der stärkste ist, oder dass die Stelle zwischen den Linien *D* und *E* und zwar unmittelbar an *D* bei weitem am hellsten erscheint. Von da nimmt die Helligkeit gegen das rothe und violette Ende anfangs schnell, dann langsamer und zuletzt wieder schneller ab. Dies hat keineswegs seinen Grund in der objektiven Beschaffenheit des Sonnenspektrums, sondern wesentlich in der Beschaffenheit der Netzhaut. Keineswegs nämlich ist die Gegend zwischen *D* und *E* diejenige des Spektrums, wo die grösste Quantität von Energie auf die Flächeneinheit concentrirt ist. Um zu prüfen, wie die Energie der Strahlung sich im Spektrum vertheilt, muss man es auffangen mit einem möglichst vollkommen schwarzen Schirm, der möglichst wenig von der Energie der Strahlung sich vorwärts oder rückwärts fortpflanzen lässt, sondern dieselbe, wie man sich auszudrücken pflegt, „absorbirt". Hier wird also die ganze Energie verwendet werden müssen zur Erzeugung von molekularen Bewegungen der Theilchen des Schirmes selbst. Nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens kann die Wirkung der Strahlung hier nur in einer Erwärmung des Schirmes bestehen, wenn er aus einer chemisch gegen Licht indifferenten Substanz gebildet ist. In der auf der Flächeneinheit des Schirmes entwickelten Wärmemenge hat man also ein Maass von der auf sie verwandten Energie der Strahlung. Nach diesem Maasse gemessen zeigt aber die den rothen Theil des Spektrums beleuchtende Strahlung eine viel grössere Energie als die, welche irgend einen anderen gleich grossen Theil desselben beleuchtet. Wir müssen daher annehmen, dass die Netzhaut ganz besonders stark reizbar ist durch die Strahlen von etwa 550 Billionen Schwingungen in der Sekunde. Jede andere Erklärung der in Rede stehenden Thatsache lässt sich, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, widerlegen oder wenigstens als unzureichend nachweisen. Ein ge-

naueres Bild von dem Verhalten der Netzhaut zu den verschiedenen Strahlenarten erhält man durch die Fig. 48. Die Abscissenlinie stellt die Grundlinie eines prismatischen Sonnenspektrums dar und sind

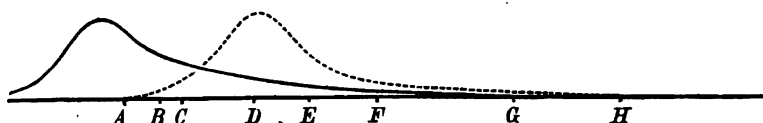


Fig. 48.

darin die Stellen der Fraunhofer'schen Linien durch die üblichen Buchstaben angedeutet. Die Ordinaten der stark ausgezogenen Curve messen die Dichtigkeit der Energie der Strahlung, welche die durch ihre Fusspunkte bezeichneten Stellen des Spektrums trifft, d. h. die Wärmemenge, welche bei vollständiger Absorption hier auf der Flächeneinheit in der Zeiteinheit entwickelt wird, oder noch richtiger ausgedrückt die Temperaturerhöhung, welche die hier auftreffende Strahlung in der Zeiteinheit bewirken kann.

Die Ordinaten der punktirten Curve geben für die einzelnen Stellen des Spektrums ungefähr die gesehenen Helligkeiten. Die Ordinate dieser Curve dividirt durch die entsprechende Ordinate der ausgezogenen Curve kann man also ansehen als ein Maass der gesammten physiologischen Reizwirkung, welche eine Arbeitseinheit von der durch den Fusspunkt der Ordinate charakterisirten Strahlenart im Netzhautapparate hervorbringt. Dieser Quotient ist zwischen der Linie D und E am grössten und nimmt von da nach dem rothen Ende sehr rasch, nach dem violetten Ende langsamer ab. Das heisst also mit anderen Worten, überall gleiche Energie vorausgesetzt machen Strahlen von etwa 550 Billionen Schwingungen in der Sekunde — welche den Eindruck „Grün" hervorbringen — den stärksten Reizeffekt, viel schwächer wirken Strahlen, wenn die Schwingungszahl unter 500 Billionen herabgeht, in welchem Falle der Eindruck den Charakter des „Roth" annimmt und gleichfalls schwächer aber nicht so viel schwächer ist der blaue und violette Eindruck, welcher durch die Energieeinheit von Strahlen grösserer Schwingungszahl entsteht.

Noch genauer als die punktirte Curve Fig. 48 giebt die nachstehende Tabelle Rechenschaft von dem physiologischen Effekte gleicher Flächenräume in verschiedenen Gegenden des Sonnenspektrums oder von der gesehenen Helligkeit der verschiedenen Spektralzonen. In der ersten Spalte ist die Zone des Spektrums durch Farbenton und Fraunhofer'sche Linie bezeichnet, in der zweiten und dritten Spalte

das Maass der gesehenen Helligkeit nach FRAUNHOFER und nach VIERORDT.

	FRAUNHOFER.	VIERORDT.
Roth *B*	32	22
Orange *C*	94	128
Röthlichgelb *D*	640	780
Gelb *D—E*	1000	1000
Grün *E*	480	370
Blaugrün *F*	170	128
Blau *G*	31	8
Violett *H*	5,6	0,7

Man sieht, dass diese beiden Zahlenreihen ziemlich gut übereinstimmen, obwohl sie nach ganz verschiedenen Methoden gefunden sind. FRAUNHOFER hat die Helligkeit einfach nach photometrischen Methoden geschätzt. VIERORDT[1] schätzte die Helligkeit einer Spektralzone nach der Menge weisses Lichtes, welche beigemischt werden musste, um ein eben merkliches Abblassen der Farbe zu bewirken.

Sowie hiernach die Reizbarkeit der Netzhaut für verschiedene Strahlenarten verschieden ist, so ist auch je nach der Natur der Strahlung die Fähigkeit des Gesichtssinnes eine verschiedene, kleine Unterschiede der Intensität zu bemerken. Nach den Untersuchungen von LAMANSKY[2] genügt für die Strahlen des Spektrums, welche den Eindruck von Gelb und Grün machen, schon eine Aenderung der Intensität um $^1/_{286}$ ihres Werthes um einen merklichen Unterschied der Empfindungsstärke hervorzubringen für Blau $^1/_{212}$, für Violett muss die Aenderung $^1/_{106}$ betragen, für Orange $^1/_{78}$ und für Roth $^1/_{70}$. DOBROWOLSKY fand nach einer andern Methode die Unterscheidungsfähigkeit überall kleiner, er fand dieselbe am grössten für den indigofarbigen Theil des Spektrums.

Es mögen gleich hier vorgreifend Angaben Platz finden über die Feinheit der Unterscheidung von Intensitäten solcher Strahlungen, die den Eindruck des Weiss machen. Solche Angaben liegen zum Theil schon aus älterer Zeit vor, die umfangreichsten Untersuchungen sind in neuerer Zeit von AUBERT[3] angestellt. Ich entnehme denselben nachstehende Versuchsreihe mit Kerzenlicht

1 VIERORDT, Die Anwendung des Spektralapparates u. s. w. Tübingen 1871.
2 LAMANSKY, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (1) S. 123.
3 Siehe dessen Physiologie der Netzhaut.

Absolute Helligkeit	Unterschiedsempfindlichkeit
710	$^1/_{164}$
173	$^1/_{140}$
100	$^1/_{123}$
44	$^1/_{106}$
25	$^1/_{104}$
16	$^1/_{94}$
7	$^1/_{90}$
4	$^1/_{67}$
1	$^1/_{35}$

Der Bruch in der zweiten Spalte giebt an, um den wievielten Theil der kleineren Intensität sich zwei Strahlungen unterscheiden müssen, wenn sie als verschieden hell erkannt werden sollen. Man sieht, dass dieser Bruchtheil um so kleiner sein darf je intensiver die Strahlungen sind. Im Bereich der grösseren Intensitätswerthe der vorstehenden Tabelle nimmt aber der zur Unterscheidung erforderliche Bruchtheil der gesammten Intensität nur sehr wenig mit wachsendem Werthe dieser letzteren ab. Es widersprechen daher diese Versuche nicht den Ergebnissen älterer von Weber, Fechner und anderen angestellten Versuchen, wonach für ein beträchtliches Intervall der Reizskala zwei Lichtreize sich immer um denselben Bruchtheil unterscheiden müssen um Empfindungen hervorzurufen, deren Unterschied eben merklich sein soll.

Hält man die Versuche über weiss aussehendes Licht zusammen mit den soeben erwähnten Versuchen von Lamansky über farbiges, so ergiebt sich, dass die Fähigkeit des Auges, Intensitätsunterschiede zu erkennen, bei weissem Lichte nicht so weit geht als bei blauem und grünem, aber weiter als bei orangefarbenem, rothem und violettem.

III. Die unsichtbaren Strahlen.

Der Anblick der Fig. 48 lehrt uns noch eine höchst merkwürdige Thatsache, dass nämlich ein Stück über die Linie A hinaus, wo vom Auge keine Spur von Beleuchtung wahrgenommen wird, der das Spektrum aufnehmende Schirm von Strahlen getroffen wird, deren Schwingungszahl kleiner ist, 400 Billionen in der Sekunde. Die Energie dieser wenigst brechbaren Strahlen des Sonnenlichtes ist sogar grösser als die Energie der Strahlen von irgend welcher höheren Brechbarkeitsstufe. Dass diese Strahlen auf die Netzhaut nicht reizend wirken, könnte möglicherweise darauf beruhen, dass dieselben die brechenden Medien des Auges nicht zu durchdringen vermögen und also gar nicht zur Netzhaut gelangen. Diese Erklärung ist aber nicht zulässig. Es ist allerdings durch besondere Ver-

suche bewiesen, dass Strahlen jener geringen Brechbarkeit beim Durchgang durch die brechenden Medien des Auges eine bedeutende Schwächung erleiden. Wenn wir uns also die Energiekurve eines auf der Netzhaut entworfenen Sonnenspektrums korrekt vorstellen wollten, so würden wir die Ordinaten des links von der Linie *A* gelegenen Theiles bedeutend kleiner zu denken haben als sie in Fig. 48 erscheinen. Auch die Strahlen, welche etwas rechts von *A* im Spektrum eintreffen, werden in wässrigen Flüssigkeiten, die ja in sehr dicken Schichten grünblau aussehen, etwas stärker absorbirt. Es wären also auch die Ordinaten zunächst rechts an *A* wohl noch etwas zu verkleinern. Die Versuche geben uns aber, wie mir scheint, kein Recht anzunehmen, dass jene Strahlen die Augenmedien absolut gar nicht zu durchdringen vermögen, was auch gegen jede Analogie wäre. Man erhält aber selbst dann keine Lichtempfindung, wenn man Strahlen von kleinerer Schwingungszahl als 400 Billionen in der Sekunde, mit ganz ausserordentlicher Intensität ins Auge fallen lässt. Zum Beweise hierfür kann ein schöner von TYNDALL zuerst ausgeführter Versuch dienen. Lässt man das von den glühenden Kohlenspitzen der elektrischen Lampe ausgesandte und durch einen Hohlspiegel konvergent gemachte Strahlenbündel durch eine Schicht von Schwefelkohlenstoff, in welchem Jod gelöst ist, hindurchgehen, so werden darin alle Strahlen von grösserer Schwingungszahl als 450 Billionen in der Sekunde absorbirt und es gehen nur die Strahlen von geringerer Schwingungszahl durch. Diese Strahlung hat aber noch solche Energie, dass in ihrem Vereinigungspunkt eine Hitze entsteht, welche ein mit Platinrohr überzogenes Platinblech sofort glühend macht. Bringt man nun das Auge in den von diesem Punkte ausgesandten Strahlenkegel, so entsteht trotz der bedeutenden Schwächung, welche diese Strahlen in den brechenden Medien des Auges erleiden, auf der Netzhaut ein gewiss noch sehr intensiv bestrahlter Fleck, da in diesem Versuche eben die ursprüngliche Intensität der Strahlung so überaus stark ist. Gleichwohl hat man nicht die mindeste Lichtempfindung. Am intensivsten ist offenbar die Bestrahlung der Netzhautstelle, wenn das Auge so gestellt wird, dass der Fokus um die Sehweite vom Auge entfernt ist, so dass ein deutliches Bild desselben auf der Netzhaut entsteht. Es beruht auf einem Irrthum, wenn TYNDALL um den Versuch recht beweisend zu machen seine Retina an den Ort des Fokus selbst setzte. Er brachte dabei seine Hornhaut in die Gefahr einer schädlichen Erwärmung, ohne die Beweiskraft im mindesten zu erhöhen, denn das jetzt konvergent auf die Hornhaut fallende Strahlenbündel

wurde durch die Brechung an den Trennungsflächen des Auges schon in der vorderen Augenkammer zur Vereinigung gebracht und auf der Netzhaut über ein so grosses Flächenstück ausgebreitet, dass hier die Intensität sicher nicht grösser sein wird, als wenn man den vom Fokus ausgehenden Strahlenkegel aus der Akkommodationsferne in das Auge fallen lässt. So oder so angestellt, beweist dieser Versuch über allen Zweifel, dass Strahlen von weniger als 400 Billionen Schwingungen in der Sekunde, wenn sie in noch so grosser Intensität die Netzhaut treffen, ihre Elemente nicht zu reizen vermögen.

Die Physik lehrt ferner, dass in der Sonnenstrahlung wie sie an der Erdoberfläche ankommt und mehr noch in der Strahlung des elektrischen Lichtes auch Strahlen vorhanden sind, deren Schwingungszahl in der Sekunde weit grösser ist als 790 Billionen — die sogenannten ultravioletten Strahlen. Die Energie dieser Strahlen, welche auf die Flächeneinheit des Spektrums jenseits der Linie *H* trifft, gemessen durch die entwickelte Wärme, ist freilich sehr gering, aber doch ist sie gross genug um gewisse andere sehr merkliche Wirkungen auszuüben. Z. B. wird ein mit Chlorsilber behandeltes Papierblatt im Sonnenspektrum weit über die Linie *H* hinaus sehr entschieden, geschwärzt, wo es für das Auge vollkommen dunkel erscheint. Besonders augenfällig kann man das Vorhandensein der ultravioletten Strahlen im Sonnenschein machen, wenn man das Spektrum auf der Oberfläche einer fluorescirenden Substanz auffängt. So nennt man bekanntlich Stoffe, welche von ultravioletten Strahlen getroffen nun ihrerseits Strahlen von geringerer Schwingungszahl aussenden und diese wirken dann verhältnissmässig stark auf das Auge. Fängt man z. B. das Sonnenspektrum oder noch besser das Spektrum des elektrischen Lichtes mit einem Schirme auf, der aus einem mit Aesculinlösung getränkten Papier angefertigt ist, so sieht man noch weit über die Linie *H* hinaus sich einen bläulichen Schimmer erstrecken. Besonders weit erstreckt sich derselbe, wenn man zur Erzeugung des Spektrums nicht Linsen und Prismen aus Glas sondern aus Bergkrystall verwendet, weil dieser die ultravioletten Strahlen weit besser durchlässt als Glas. Es ist für die ultravioletten Strahlen dieselbe Frage aufzuwerfen wie für die ultrarothen, ob nämlich die Unsichtbarkeit des von ihnen beschienenen Theiles des Spektrums dadurch zu erklären ist, dass diese Strahlen die Augenmedien nicht durchdringen und folglich gar nicht zur Netzhaut gelangen oder dadurch, dass auch für sie die Netzhaut nicht erregbar ist. Es ist nun durch Versuche nachgewiesen, dass die ultravioletten Strahlen die Augenmedien wohl durchsetzen können, wenn auch besonders in

der Linsen- und Hornhautsubstanz eine recht merkliche Absorption derselben stattfindet. Die Unsichtbarkeit des ultravioletten Theiles des Sonnenspektrums muss also ebenso wie die des ultrarothen Theiles auf die mangelnde Erregbarkeit der Netzhaut für diese Strahlen bezogen werden. Uebrigens ist für sie die Netzhaut nicht wie für die ultrarothen absolut unerregbar, sondern nur sehr wenig erregbar. In der That kann der ultraviolette Theil des Spektrums ganz direkt gesehen werden, wenn man für Abblendung des im gewöhnlichen Sinne sichtbaren Theiles sowie überhaupt alles anderen Lichtes sorgt. Wie ausserordentlich gering aber die Intensität der Erregung durch ultraviolette Strahlen ist, gewahrt man, wenn man solche ganz ausschliesslich theilweise auf einen fluorescirenden, theilweise auf einen nicht fluorescirenden Schirm wirft. Die Helligkeit des fluorescirenden Schirmes erscheint alsdann nach Helmholtz's Schätzung 1200 mal so gross als die der nicht fluorescirenden. Da man nun keinen Grund zu der Annahme hat, dass in fluorescirenden Körpern durch ultraviolette Strahlen Kräfte ausgelöst werden, sie vielmehr sicher nur die Schwingungszahl jener Strahlen ändern ohne der Energie etwas zuzufügen, so muss man schliessen, dass dieselbe Energie in Form von ultravioletten Strahlen in einem gegebenen Flächenstück der Netzhaut eine 1200 mal schwächere Erregung hervorbringt als in Form von weniger brechbaren Strahlen. Man kann demnach wohl sagen, dass für den praktischen Gebrauch des Auges die Reizbarkeit der Netzhaut durch ultraviolette Strahlen nicht in Betracht kommt.

Zu der durch ultraviolette Strahlen erzeugten Lichtempfindung tragen in geringem Maasse wahrscheinlich Strahlen von niederer Brechbarkeit bei, welche durch eigene Fluorescenz erst in den Retinaelementen selbst unter dem Einflusse ultravioletter Strahlen entstehen. Man sieht nämlich die Netzhaut eines Leichenauges in ultravioletter Beleuchtung etwas fluoresciren und zwar in grünlich-weisser Farbe, da nun direkte Einwirkung der ultravioletten Strahlen einen mehr bläulich-weissen Eindruck macht, so kann man aus den später zu entwickelnden Lehren von der Farbenmischung schliessen, dass die Reizung durch diese Strahlen selbst einen mehr violetten Eindruck macht, der durch das grünliche Fluorescenzlicht zu bläulich-weiss modificirt wird. Kürzlich haben W. v. Bezold und Engelhardt[1] die Fluorescenz der Netzhaut auch am lebenden Auge nachgewiesen. Sie sahen nämlich, wenn ein Netzhautstück durch homogenes violettes oder ultraviolettes Licht beleuchtet war, ophthalmoskopisch die

1 Engelhardt, Sitzgungsber. d. bayr. Acad. 1877. 7. Juli.

Gefässe desselben in natürlicher Blutfarbe, was nur durch Fluorescenz der dahinter liegenden Netzhautelemente erklärt werden kann.

Die Unfähigkeit der Netzhaut durch ultraviolette und ultrarothe Strahlen erregt zu werden, ist für den Sehakt von der allergrössten Wichtigkeit. Wäre die Netzhaut durch die ultrarothen Strahlen auch nur im mindesten reizbar, so würde offenbar ein Sehen äusserer Objekte gar nicht stattfinden können. Solche Strahlen nämlich werden bekanntlich auch von Körpern niederer Temperatur selbständig ausgesandt. Es ist wohl kaum zu bezweifeln, dass die Energie der ultrarothen Strahlung, welche ein Netzhautstäbchen allein schon von den vor ihm gelegenen, doch immerhin 37° warmen anderen Netzhautelementen erhält, so gering sie auch sein mag grösser ist als die Energie der sämmtlichen Strahlen hoher Brechbarkeit, welche dies Stäbchen von einem schwach beleuchteten Objekte erhält. Wäre nun das Stäbchen durch jene Strahlen reizbar, so käme es gar nie zur Ruhe und in dem beständig hellen Gesichtsfelde könnten sich schwach beleuchtete Bilder äusserer Objekte gar nicht auszeichnen.

Eine Reizbarkeit durch ultraviolette Strahlen würde allerdings nicht so principiell unverträglich mit dem Sehen sein, da von den Theilen des Auges selbst keine solchen ausgesandt werden, jedesfalls würde aber eine starke Reizung durch jene Strahlen die Deutlichkeit des Sehens bedeutend beeinträchtigen. Im Bereiche der ultravioletten Strahlung nimmt nämlich der Brechungsindex sehr rasch mit der Schwingungszahl zu. Kämen sie also beim Sehakt stark zur Geltung, so würde die Deutlichkeit der Bilder durch die chromatische Abweichung des brechenden Apparates sicher merklich gestört werden.[1] In dieser Beziehung ist es offenbar von Bedeutung, dass schon die violetten Strahlen meist wenig wirken.

VI. Symbolische Darstellung der Farbentöne.

Die Unterschiede der Empfindungsqualitäten, welche durch die verschiedenen homogenen Strahlungen des Spektrums veranlasst werden, sind allgemein anerkannt als mathematische Grössen, denn es

1 Obwohl ich schon vor 4 Jahren (Fick, Compendium der Physiologie. 2. Aufl. S. 181—182) auf die Zweckmässigkeit der Unerregbarkeit der Netzhaut durch ultrarothe und ultraviolette Strahlen aufmerksam gemacht habe, scheint dieselbe doch immer noch von manchen für eine Unvollkommenheit des Auges angesehen zu werden. So sagt Tyndall (in seinen Vorlesungen über das Licht. (Deutsche Ausgabe 1876. S. 177) mit Bezug darauf: Wollten wir uns erlauben, für einen Augenblick den Begriff des allmählichen Wachsens, Verbesserns und Aufsteigens anzueignen, der im Worte Evolution liegt, so könnten wir ruhig schliessen, dass noch grosse Vorräthe von sichtbaren Eindrücken den Menschen erwarten, weit grössere als diejenigen die er jetzt besitzt.

nimmt Niemand Anstoss an quantitativen Schätzungen dieser Unterschiede. Ja die von den meisten Menschen gemachten Schätzungen der Art stimmen sehr wohl überein. Z. B. wird gewiss kein Widerspruch erhoben werden gegen den Satz, dass die Empfindung Roth der Empfindung Orange mehr ähnlich sei als der Empfindung Grün. Es ist ferner eine Thatsache der unmittelbaren Anschauung, dass diese Farbenempfindungsunterschiede stetig veränderliche Grössen sind, so dass der eine „Farbenton“ — mit diesem Ausdruck soll der bestimmte Charakter einer durch homogene Strahlung verursachten Lichtempfindung bezeichnet werden — durch unendlich kleine Abstufungen in einen andern Farbenton übergehen kann. Es entspricht ferner einem unendlich kleinen Unterschiede zweier Farbenempfindungen ein unendlich kleiner Unterschied der Schwingungszahlen der beiden homogenen Strahlungen, durch welche die beiden Farbenempfindungen hervorgerufen werden. Gleich grossen endlichen Unterschieden der Schwingungszahl homogener Strahlen entsprechen aber keineswegs gleich grosse Unterschiede im Farbenton. So ist namentlich nach dem übereinstimmenden Zeugniss aller normal sehenden Menschen der Farbenton Violett dem Roth entschieden ähnlicher als der Farbenton Blau, obwohl die Schwingungszahl, die dem Violett entspricht, 790 Billionen weiter von der die Empfindung Roth veranlassenden nämlich 450 Billionen differirt als die dem Blau entsprechende nämlich etwa 700 Billionen.

Man kann hiernach das stetige Fortschreiten von einem Farbenton zum andern füglich symbolisch darstellen durch das Fortschreiten von einem Punkte, zum andern längs eines Linienzuges. Zum Maasse des Unterschiedes zweier Farbentöne muss bei dieser Darstellung eine Grösse gemacht werden, welche von der gegenseitigen Lage der die Farbentöne bezeichnenden Punkte dergestalt abhängt, dass sie unendlich klein wird, wenn die beiden Punkte einander unendlich nahe liegen. Eine solche Darstellung wird den bereits ausgesprochenen Thatsachen der inneren Anschauung gerecht, wenn man dem Linienzug eine Gestalt giebt, wie die der stark ausgezogenen Curve Fig. 49, an welcher die Namen der Farben angeschrieben sind, und wenn man festsetzt zum Maasse des Unterschiedes zweier Farbentöne soll der hohle Winkel dienen, den die zwei Fahrstrahlen miteinander machen, welche man von einem auf der concaven Seite der Curve gelegenen Pol (*W* Fig. 49) zu den zwei die Farbentöne darstellenden Punkten ziehen kann. Nur so kann die Darstellung vergegenwärtigen, dass der Unterschied von Roth und Violett kleiner ist als z. B. der von Roth und Grün, sofern eben dieser Unterschied

durch den grösseren Winkel RWG, jener durch den kleineren Winkel RWH[1] gemessen wird.

Im Uebrigen hätte der Verlauf der Curve und die Lage des

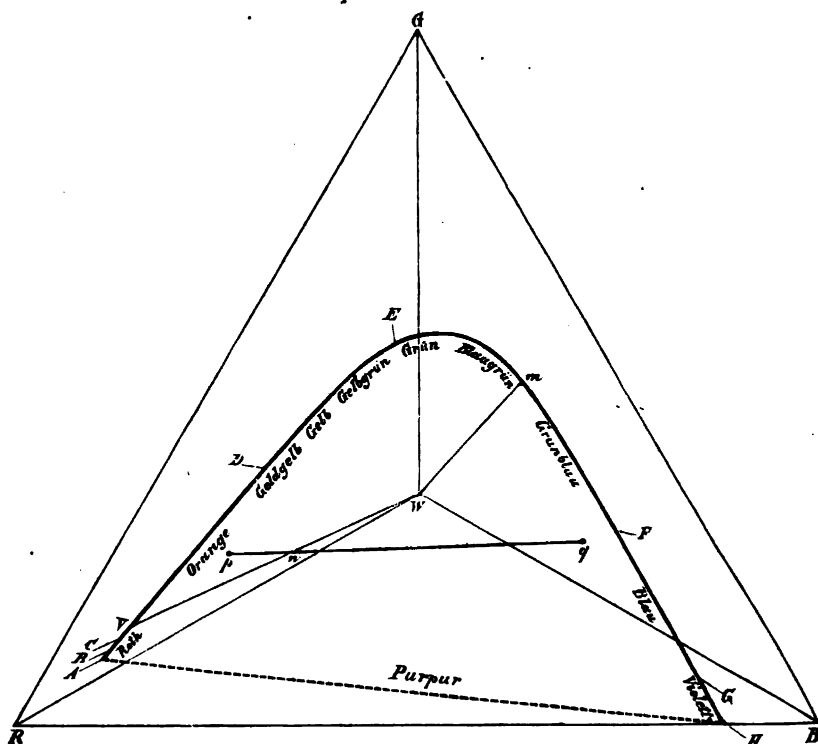


Fig. 49.

Poles W innerhalb weiter Grenzen verschieden gewählt werden können, wenn blos die bisher ausgesprochenen Beziehungen der homogenen Farbentöne dargestellt werden sollten. Die besondere Wahl der Form und der Lage des Poles in der Figur ist schon mit Rücksicht auf die folgenden Sätze getroffen.

---

1 Die Seite WH dieses Winkels ist in der Figur nicht ausgezogen.

VIERTES CAPITEL.

Die gemischten Farben.

I. Zusammenwirken von zwei homogenen Strahlungen.

Es soll jetzt weiter untersucht werden, welchen Charakter die Lichtempfindungen haben wenn mehrere homogene Strahlungen zugleich dieselben Netzhautelemente reizen. Um mit dem einfachsten Falle zu beginnen, wollen wir zunächst nur immer je zwei homogene Strahlenarten auf dieselbe Netzhautstelle wirken lassen. Zu diesem Zwecke kann man sich folgender Methode bedienen. Auf einem Schirm $S_,$ Fig. 50 erzeugt das Prisma P nebst der Linse $L_,$ in der

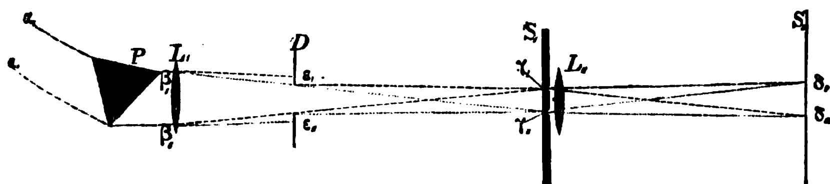


Fig. 50.

Weise wie in Fig. 47 auf S. 170 ein reines Spektrum indem wie dort Sonnenstrahlen durch einen feinen senkrechten Spalt (der in der Figur 50 nicht gezeichnet ist) aus den Richtungen $\alpha_,$ und $\alpha_{,,}$ auf die vordere Prismenfläche fallen. Zwischen die Linse $L_,$ und den Schirm $S_,$ stellt man nahe an $L_,$ noch einen Schirm D mit einer rechteckigen Oeffnung $\varepsilon_,$ $\varepsilon_{,,}$, welche bloss den noch unzerstreuten Theil des von $L_,$ ausgehenden Strahlensystemes durchlässt. Diese Oeffnung bildet also gleichsam ein weisses Objekt, denn ein auf sie gelegtes Blatt Papier würde einen stark beleuchteten weissen Fleck zeigen, und wenn man dicht hinter $S_,$ eine zweite achromatische Linse stellt, so wird dieselbe, wenn $S_,$ weggenommen wird in der zu $D L_{,,}$ konjugirten Vereinigungsweite $L_{,,} S_{,,}$ ein ebenfalls weisses Bild entwerfen, das auf einem bei $S_{,,}$ aufgestellten Blatt Papier dargestellt werden kann. Das aus der Oeffnung $\varepsilon_,$ $\varepsilon_{,,}$ nach rechts hervorgehende Strahlensystem hat aber eine ganz besondere Beschaffenheit. Nämlich von jedem Punkte dieser Oeffnung geht ein Strahlenbündel aus das aus lauter homogenen Strahlen besteht die sich zu verschiedenen Punkten des Schirmes $S_,$ begeben. Der Strahl von grösster Brech-

barkeit geht zum Punkte $\gamma_,$ der von geringster geht zum Punkte $\gamma_{,,}$ und die übrigen von mittlerer Brechbarkeit zu zwischenliegenden Punkten. Als Beispiel sind die beiden Strahlen von stärkster Brechbarkeit, welche durch die beiden Endpunkte $\varepsilon_,$ und $\varepsilon_{,,}$ gegangen sind durch gestrichelte Linien angedeutet und ebenso durch punktirte Linien die beiden Strahlen von kleinster Brechbarkeit, welche von eben diesen Endpunkten $\varepsilon_,$ und $\varepsilon_{,,}$ ausgehen. Wird also vor die Linse $L_{,,}$ der vorhin erwähnte Schirm $S_,$ aufgestellt und befindet sich in demselben etwa bei $\gamma_,$ ein schmaler Spalt, so kann nunmehr das Bild $\delta_, \delta_{,,}$ der rechteckigen Oeffnung $\varepsilon_, \varepsilon_{,,}$ nur von Strahlen höchster Brechbarkeit erleuchtet werden und erscheint in seiner ganzen Ausdehnung gleichmässig im gesättigten Farbenton, der dieser Strahlenart entspricht. Wird dagegen nur ein Spalt bei $\gamma_{,,}$ eröffnet, so erscheint das Bild $S_, S_{,,}$ im Farbenton der wenigst brechbaren Strahlen. Und im Farbenton einer bestimmten Strahlenart mittlerer Brechbarkeit erscheint das Bild wenn ein Spalt zwischen $\gamma_,$ und $\gamma_{,,}$ im Sehirm offen ist. Durch Verschieben eines Spaltes in der Ebene $S_,$ kann man also dem Bilde $\delta_, \delta_{,,}$ nacheinander die Farbentöne aller homogener Strahlenarten geben die im Sonnenlichte enthalten sind. Wenn man im Schirme $S_,$ zwei Spalten öffnet, so wird mithin das Bild $\delta_, \delta_{,,}$ von 2 homogenen Strahlenarten beleuchtet sein und indem man es betrachtet, wird man den Lichteindruck haben, welchen zwei homogene Strahlenarten zusammen hervorbringen, wenn sie gleichzeitig eine Netzhautstelle treffen. Man kann auf diese Art jede homogene Strahlenart mit jeder andern kombiniren, denn man kann durch verschiedene Stellung der Spalten auf $S_,$ zwei beliebige Stellen des Spektrum kombiniren, wie verlangt wurde. Durch Oeffnen von 3 Spalten in $S_,$ können natürlich auch 3 homogene Strahlenarten auf $\delta_, \delta_{,,}$ kombinirt werden. Die nach dieser Methode angestellten Versuche über homogene Farben und Mischfarben gehören zu den schönsten optischen Demonstrationen die man sehen kann.

Die beschriebene Methode erfordert selbstverständlich zu ihrer Ausführung direktes Sonnenlicht, man kann aber genau dieselben Erscheinungen auch im diffusen Tageslicht subjektiv beobachten. Die Methode beruht auf demselben Princip und ist folgende. $S_,$ sei ein in Fig. 51 von diffusem Tageslicht beleuchteter Spalt, P ein Prisma und L eine achromatische Linse. Die Anordnung sei so, dass auf einem Schirme M ein reines Spektrum entsteht. Befindet sich nun in diesem Schirme ein Spalt σ der Stelle entsprechend wo z. B. die Strahlen von 600 Bill. Schwingungen eintreffen, so wird ein hinter diesem Spalt befindliches Auge dessen Sehweite gleich seiner Entfer-

nung vom Prisma ist die Prismenfläche deutlich sehen und zwar ganz gleichmässig in der Farbe, welche der gewählten Schwingungszahl entspricht. Befindet sich bei S_2 ein zweiter Spalt mit Tages-

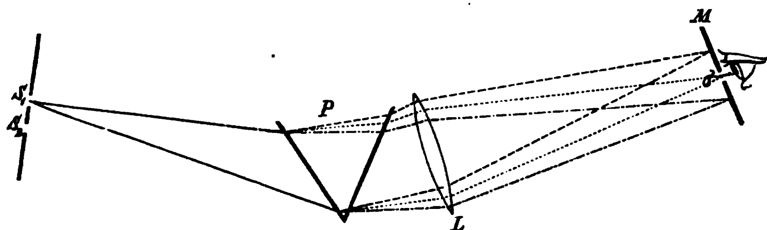


Fig. 51.

licht beleuchtet, so wird ein zweites Spektrum auf M gebildet von diesem aber treffen andere Strahlen von geringerer Brechbarkeit auf den Spalt σ und das Auge hinter σ wird jetzt von jedem Punkte der Prismenfläche zweierlei Strahlen erhalten also dieselbe in der Mischfarbe sehen.

Prüft man nach einer dieser Methoden alle möglichen Paare homogener Strahlenarten durch, so erhält man für jedes Paar entsprechend den unendlich vielen Werthen, welche das Verhältniss der Intensitäten beider Strahlenarten annehmen kann, unendlich viele verschiedene Lichtempfindungen von verschiedener Qualität die durch ihre unmerklichen Abstufungen von der Farbe der einen Strahlenart zur Farbe der andern einen stetigen Uebergang bilden. Die gesammten so erhaltenen neuen Eindrücke sind zwar alle verschieden von den durch homogene Strahlungen erzeugten, aber sie sind nicht mehr alle unter einander verschieden, so dass schon bei der blossen Zusammensetzung zweier homogener Strahlen in allen möglichen Verhältnissen der Intensität die Mannigfaltigkeit der Empfindungsqualitäten hinter der Mannigfaltigkeit der als Reize dienenden physikalischen Vorgänge weit zurückbleibt. Heben wir zunächst einzelne Beispiele hervor. Lässt man Strahlen von 450 Billionen Schwingungen (die den Eindruck roth machen) mit solchen von 790 Billionen Schwingungen zusammen wirken, so erhält man durch Variiren des Verhältnisses der Intensitäten der beiden Strahlenarten eine neue Reihe von Lichteindrücken, deren Farbenton mit keinem der spektralen Farbentöne genau übereinstimmt. Diese ganz neuen Farbentöne die wir als Purpurtöne bezeichnen wollen, sind dem Roth und dem Violett mehr oder weniger ähnlich je nachdem die Strahlen von 450 Billionen oder die von 790 Billionen Schwingungen mehr oder weniger stark in der Mischung vertreten sind. Durch stetiges Aendern dieses

Intensitätsverhältnisses von ∞ zu Null erhält man einen stetigen Uebergang von Roth zu Violett durch die verschiedenen Purpurtöne. Man kann demnach dieses Fortschreiten von Roth zu Violett symbolisch darstellen durch das Fortschreiten in der punktirten Linie (Fig. 49), welche die Endpunkte der ausgezogenen Curve verbindet. Wenn man jetzt die Purpurtöne mit den durch die homogenen Strahlungen des Spektrums verursachten Farbentönen zusammenfasst, so kann man von einem beliebigen Farbenton zu einem beliebigen andern auf zwei verschiedene Arten stetig fortschreiten entsprechend den zwei Wegen, auf denen man in der ringförmig geschlossenen Linie der Fig. 49, welche aus dem krummen ausgezogenen und aus dem geraden punktirten Stücke besteht, von jedem Punkte zu jedem andern gelangen kann. So kann man z. B. vom Farbenton Gelb zum Farbenton Blau fortschreiten entweder durch Grünlichgelb, Grün, Blaugrün oder durch Orange, Roth, Purpur Violett.

Eine ganz besondere Erscheinung tritt hervor wenn man gewisse homogene Strahlenpaare des Spektrums zusammenwirken lässt, welche man komplementäre nennt. Bringt man z. B. mit Strahlen von der Wellenlänge 0,0006559 (die für sich den Eindruck Roth machen) in einem gewissen Intensitätsverhältnisse Strahlen von der Wellenlänge 0,0004875 (die den Eindruck Blaugrün machen) auf der Netzhaut zusammen, so entsteht ein Lichteindruck, welcher im Farbenton weder an Roth noch an Blaugrün noch an irgend einen andern (Purpur eingeschlossen) im mindesten erinnert. Es ist der im gemeinen Sprachgebrauch mit „Weiss" bezeichnete Lichteindruck.

Ausser dem soeben bezeichneten giebt es nun noch unzählige andere komplementäre Strahlenpaare, die in bestimmtem Intensitätsverhältnisse zusammenwirkend den Eindruck des Weiss hervorbringen. Nach J. J. MÜLLER's Bestimmungen die für sein linkes und rechtes Auge ein wenig von einander abweichen (denen auch das vorige Beispiel entnommen war) sind folgende Farbentöne komplementär.

Farbe.	Wellenlänge.	Komplementäre Farbe.	Wellenlänge linkes Auge.	Wellenlänge rechtes Auge.
Roth	0,0006559	Blaugrün	0,0004875	0,0004865
Violett	0.0004225	Gelb	0,0005591	0,0005608

Etwas abweichend sind Bestimmungen von HELMHOLTZ die in Hundertmilliontheilen[1] des Pariser Zolles die Wellenlängen geben.

1 In HELMHOLTZ's physiologischer Optik steht wahrscheinlich durch einen

Farbe.	Wellenlänge.	Komplementäre Farbe.	Wellenlänge.	Verhältniss der Wellenlänge.
Roth	2425	Grünblau	1818	1,334
Orange	2244	Blau	1809	1,240
Goldgelb	2162	Blau	1793	1,206
Goldgelb	2120	Blau	1781	1,190
Gelb	2095	Indigblau	1716	1,221
Gelb	2085	Indigblau	1706	1,222
Grüngelb	2082	Violett	von 1600 ab	1,301

Lässt man ein komplementäres Strahlenpaar zusammenwirken in anderem Intensitätsverhältniss als in welchem sie weiss geben, so erhält man einen Lichteindruck, welcher an den Farbenton der vorherrschenden Strahlenart erinnert aber mit dem Weiss Aehnlichkeit hat und zwar um so mehr je mehr sich das Intensitätsverhältniss der Strahlen dem nähert, in welchem zusammenwirkend sie weiss geben. Solche Farbeneindrücke nennt man blasse, weissliche oder auch wohl im gemeinen Leben sehr uneigentlich „helle“ Farben. Die Abweichung eines Farbeneindruckes — sei er nun durch homogene Strahlung oder durch Zusammenwirken mehrerer homogener Strahlen hervorgebracht — vom Weiss kann füglich im Anschluss an den gemeinen Sprachgebrauch als Grad der Sättigung der Farbe bezeichnet werden. Dieser Grad ist eine mathematische Grösse.

Höchst bemerkenswerth ist die Thatsache, dass zu den homogenen Strahlen, welche den Eindruck des Grün machen (also etwa den Wellenlängen zwischen 0,0005636 und 0,0004921 mm. entsprechend) keine komplementäre homogene Strahlenart im Spektrum zu finden ist.

Wir untersuchen endlich die Beschaffenheit der Lichteindrücke, welche durch Zusammenwirken zweier homogener Strahlungen entstehen, die nicht komplementär sind und schliessen auch das schon behandelte Paar von homogenen Strahlenarten an den beiden äussersten Enden des Spektrums aus. Die Hauptsätze hierüber sind nach Untersuchungen von J. J. Müller in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Zu ihrem Verständniss sind einige Bemerkungen nöthig. Die homogene Strahlenart ist immer nur durch den Namen des von ihr hervorgebrachten Farbeneindruckes bezeichnet, weil es hier nicht auf sehr genaue Bestimmung der Wellenlänge ankommt. Wo in der Rubrik Mischfarbe mehrere Farbennamen durch „oder“ ver-

Druckfehler in „Milliontheilen“. Ich habe in der Tabelle die Originalzahlen von Helmholtz gegeben, sie können durch Multiplikation mit 27,07 auf Millimetermaass reducirt werden.

bunden stehen, kommt der eine oder der andere Farbeneindruck zu Stande je nachdem die erste oder zweite homogene Componente an Intensität vorherrscht. Das Wort spektral in der Rubrik Sättigungsgrad soll bedeuten, dass der Eindruck der gemischten Strahlung merklich ebenso gesättigt ist wie der Eindruck den eine homogene Strahlung von dem entsprechenden Farbenton hervorruft.

Componenten.	Ton der Mischfarbe.	Sättigungsgrad.
Roth — Gelb.	Orange.	Spektral.
Orange — Gelbgrün.	Gelb.	Spektral.
Gelb — Grün.	Gelbgrün.	Weisslich.
Gelbgrün — Blaugrün.	Grün.	Sehr weisslich.
Grün — Cyanblau.	Blaugrün.	Weisslich.
Blaugrün — Indigo.	Cyanblau.	Spektral.
Cyanblau — Violett.	Indigo.	Spektral.
Roth — Gelbgrün.	Orange oder Gelb.	Spektral.
Roth — Grün.	{ Orange oder Gelb oder Gelbgrün. }	Weisslich.
Violett — Blaugrün.	Indigo oder Cyanblau.	Spektral.
Violett — Grün.	{ Indigo oder Cyanblau oder Blaugrün. }	Weisslich.
Violett — Orange.	Roth.	Weisslich.
Roth — Cyanblau.	Indigo oder Violett.	Weisslich.
Roth — Indigo.	Violett.	Wenig weisslich.

Unter den Eindrücken, welche nach dieser Tabelle durch Zusammenwirken nicht komplementärer Strahlungen erzeugt werden, giebt es viele, die ganz genau ebenso auch durch Zusammenwirken eines anderen Strahlenpaares hervorgebracht werden können, z. B. der weisslich-orange Farbeneindruck den rothe und grüne Strahlen hervorbringen, kann auch erzeugt werden durch Zusammenwirken von Strahlen der Wellenlänge 0,00002244 Par. Z., die den Eindruck orange machen und von den komplementären[1] Strahlen der Wellenlänge 0,00001809 Par. Z., die den Eindruck Blau machen, wenn die Intensität der ersteren stark vorwiegt. Solcher Beispiele liessen sich noch unzählige geben, oder man kann sagen: Jeder bestimmte Farbeneindruck der durch ein Paar homogener Strahlen erzeugt wird, lässt sich auch noch durch unendlich viele verschiedene homogene Strahlenpaare hervorbringen.

---

1 Siehe Tabelle S. 189.

II. Symbolische Darstellung der gemischten Farben.

Diese ganze unendliche Mannigfaltigkeit der durch Paare homogener Strahlen erzeugbaren Farbeneindrücke lässt sich bezüglich der Stetigkeit des Ueberganges von einem zum andern und bezüglich ihrer Aehnlichkeit untereinander symbolisch darstellen durch das System aller Punkte des ebenen Flächenstückes, welches von der schon mehrfach gebrauchten Kurve Fig. 49 eingeschlossen ist. Die ganz eigenartige Empfindung weiss muss offenbar durch den Punkt dargestellt sein, welcher oben schon als Pol gewählt wurde, von welchem die Fahrstrahlen ausgehen, deren Winkeldistanz die Unterschiede des Farbentones der Spektralfarben misst. Die Punkte der Fahrstrahlen selbst stellen die verschiedenen blassen Farbentöne derart dar, dass der Abstand eines Punktes vom Pol den Grad der Sättigung andeutet, welcher sein Maximum erreicht wenn die Entfernung vom Pol die ganze Länge des betreffenden Fahrstrahles bis an die spektrale Grenzkurve ausmacht. Auf dem Fahrstrahl *Wm* also beispielsweise stellen sich alle Empfindungen dar, welchen man einen bestimmten blaugrünen Farbenton zuschreibt, von weiss an durch das blasseste Blaugrün mit steigender Sättigung bis zum spektralen Blaugrün. Auf dem Fahrstrahl *WV* stellen sich ebenso alle Empfindungen von einem gewissen rothen Farbentone dar, von weiss an durch die blassesten rothen Nuancen bis zum gesättigten Roth des Spektrums u. s. w.

Es ist gut zu bemerken, dass es ganz und gar der Natur der Sache entspricht, wenn man das Fortschreiten von Ton zu Ton durch Drehung einer Richtung um einen Punkt das Fortschreiten von blasseren Nuancen eines Tones zu gesättigteren aber durch Fortschreiten auf einer geraden Linie darstellt. Beim Fortschreiten von Ton zu Ton verlangt nämlich die innere Anschauung, dass man, ohne die schon durchlaufenen Töne zum zweiten Male zu passiren zum ursprünglichen Farbenton zurückkommt, z. B. von Gelb durch Grün, Blaugrün, Blau, Violett, Purpur, Roth, Orange wieder zu Gelb. Beim Fortschreiten von weiss durch blassere Nuancen zu immer gesättigteren desselben Tones verlangt die innere Anschauung nie, dass wir zu Eindrücken kommen könnten, welche dem ursprünglichen wieder ähnlicher werden.

Lässt man mehr als zwei homogene Strahlenarten in beliebiger Zusammenstellung auf dieselbe Netzhautstelle einwirken, so entsteht niemals ein Farbeneindruck, der nicht auch schon durch Zu-

sammenwirken zweier homogener Strahlenarten hervorgebracht werden könnte, d. h. ein Eindruck der einen bestimmten einer Stelle des Spektrum entsprechenden Farbenton aufweist und dessen Sättigung jedesfalls geringer ist als die der betreffenden Spektralstelle. Mit der symbolischen Darstellung der durch Paare homogener Strahlen erzeugbaren Farben oder Lichteindrücke in Form eines begrenzten ebenen Flächenstückes ist also die ganze Mannigfaltigkeit der möglichen Farbeneindrücke von den Intensitätsunterschieden abgesehen erschöpft. Es stellt sich somit die ganze Mannigfaltigkeit der überhaupt möglichen Farbeneindrücke als eine zweifach unendliche dar. Dies heisst mit andern Worten: Es ist erstens möglich eine stetige Reihe von Elementen der Mannigfaltigkeit zu durchlaufen und auf das erste Element zurückzukommen ohne dass man ein Element zweimal nimmt — hierdurch ist die unendliche Mannigfaltigkeit als eine mehr als einfache charakterisirt. Zweitens sind durch eine solche stetige Reihe von Elementen die sämmtlichen Elemente derart in zwei Gruppen geschieden, dass es nun nicht mehr möglich ist, von einem Elemente der einen zu einem Elemente der anderen Gruppe einen stetigen Uebergang zu machen ohne dass darin ein Element der zuerst gebildeten Reihe vorkommt, hierdurch ist die Mannigfaltigkeit als eine nicht mehr als zweifache charakterisirt. Dass diese beiden Eigenschaften dem System aller möglichen auf gleiche Intensität gebrachten Farbenempfindungen zukommt wird keines besonderen Beweises mehr bedürfen.

Es mag an dieser Stelle ausdrücklich hervorgehoben werden, dass keine Lichtempfindung sei sie weiss oder habe sie einen beliebigen Farbenton und einen beliebigen Sättigungsgrad sich im Bewusstsein als etwas zusammengesetztes ankündigt. Jede erscheint vielmehr als ein durchaus Einfaches und selbst dem aufmerksamsten Beobachter wird es nie gelingen eine solche Empfindung in Componenten zerlegt zum Bewusstsein zu bringen. Der Sprachgebrauch gewisse Farbenempfindungen durch zusammengesetzte Worte wie etwa Blaugrün zu bezeichnen, scheint manche zu der Annahme verführt zu haben, dass doch etwas Zusammengesetztes an der Wahrnehmung sei. Diese Annahme kann indessen nicht entschieden genug zurückgewiesen werden. Die Sprache bezeichnet durch die Zusammensetzung von zwei Farbennamen offenbar nur die gleichzeitige Aehnlichkeit mit zwei verschiedenen Farben. Wo ein Bedürfniss vorhanden war, hat daher die Sprache auch einfache Bezeichnungen für Farben eingeführt die ebensowohl durch zusammengesetzte Worte hätten bezeichnet werden können, z. B. Gelb. Dies könnte ganz passend durch

grünlichroth bezeichnet werden, denn die Aehnlichkeit des Gelb und Roth einerseits und des Gelb und Grün andererseits ist gewiss ebenso gross wie die Aehnlichkeit des Blaugrün und Grün einer- und des Blaugrün und Blau andererseits. Dass gleichwohl für die gelbe Farbe ein besonderer Name in Gebrauch kam, hat offenbar darin seinen Grund, dass bei der besonderen Reizbarkeit der Netzhaut für die Strahlenarten, welche eben diesen Eindruck machen, derselbe sich dem sprachbildenden Bewusstsein besonders häufig und mächtig aufdrängte.

Wenn nun auch jede Farbenempfindung in der inneren Anschauung als eine unauflösliche Einheit auftritt, so ist damit keineswegs erwiesen, dass sie in Wahrheit eine einfache Empfindung ist. Es treten ja niemals im Bewusstsein die elementaren Empfindungen selbst auf, sondern stets nur Vorstellungen, welche aus dem Empfindungsmaterial gebildet sind und es bedarf auf allen Sinnesgebieten besonderer Hülfen der Aufmerksamkeit, um den Empfindungselementen auf die Spur zu kommen. Sich ihrer als solcher wirklich bewusst zu werden, gelingt vielleicht überhaupt gar nie. Am weitesten geht wohl die Fähigkeit des Ohres die in einer Gesammtempfindung enthaltenen Elemente einzeln wahrzunehmen, weil es hier eben möglich ist, sie auch einigermaassen isolirt hervorzurufen. Anders dagegen auf dem Gebiete des Tastsinnes. Der Charakter einer Wärmeempfindung im Gegensatze zu dem einer Druckempfindung wird ohne Zweifel nur bedingt durch den verschiedenen Charakter der Gruppirung mehrerer Elementarempfindungen, aber wir sind nicht im Stande uns dieser Elementarempfindungen gesondert bewusst zu werden.

Die symbolische Darstellung der qualitativen Mannigfaltigkeit aller möglichen Lichtempfindungen durch die Mannigfaltigkeit der Punkte eines begrenzten ebenen Flächenstückes kann erfahrungsgemäss in einer sehr bemerkenswerthen Weise bewerkstelligt werden. Giebt man nämlich der Begrenzungslinie eine gewisse Gestalt und dem Pol eine gewisse Lage darin, so lässt sich, wenn die beiden Punkte, welche die durch zwei Strahlungen (einfache oder beliebig zusammengesetzte) für sich hervorgebrachten Empfindungen bedeuten und das Intensitätsverhältniss der beiden Strahlungen gegeben sind, nach einer einfachen Regel der Punkt finden, welcher die durch das Zusammenwirken dieser beiden Strahlungen auf dieselbe Netzhautstelle hervorgebrachte Empfindung bedeutet. Die Regel lautet so: Man denke sich an die beiden gegebenen Punkte Massen gesetzt, deren Verhältniss das der Intensitäten der beiden Strahlungen ist und kon-

struire den Schwerpunkt dieses Massensystemes, er ist der gesuchte Punkt. Es sei z. B. *p* Fig. 49 der eine und *q* der andere gegebene Punkt, das heisst wir denken uns eine Strahlung, welche den Eindruck eines nicht ganz gesättigten Orange macht und eine zweite, welche den Eindruck eines ebenfalls nicht ganz gesättigten etwas zum Grün neigenden Blau macht. Die eine sowohl als die andere dieser Strahlungen könnte immer noch in sehr verschiedener Weise aus homogenen Strahlen bestehen, worauf gar nichts ankommt. Lassen wir nun zwei solche Strahlungen zusammenwirken, so können erstens nur Eindrücke zu Stande kommen, welche auf der geraden Linie *pq* ihre Darstellung finden, da nur hier der Schwerpunkt der beiden hypothetisch zu setzenden Massen liegen kann. Es können also nur Eindrücke von weisslich orange weisslich roth weisslich purpur weisslich violett weisslich blau entstehen und ob der eine oder andere dieser Eindrücke entsteht, hängt vom Intensitätsverhältnisse der beiden Strahlungen ab. Wäre z. B. die orange Strahlung viermal so stark als die blaue, so wäre *r* der gesuchte Punkt und wir hätten den Eindruck eines ziemlich blassen Roth, denn der Punkt *r* liegt auf dem Fahrstrahl *WV* dessen Punkte nach dem dargelegten Princip die Eindrücke darstellen, welche von einem gewissen spektralen roth den Uebergang zu weiss bilden. Es versteht sich von selbst, dass die soeben entwickelte Regel auch auf die Construktion des Farbeneindruckes, den beliebig viele verschiedene homogene oder selbst schon gemischte Strahlungen zusammenwirkend hervorbringen, denn man kann zuerst für zwei den Schwerpunkt konstruiren und dann zu dem Resultat die dritte Strahlung hinzunehmen u. s. f.

III. Young's Theorie der Farbenempfindung.

Da es bei der Construktion des gemischten Farbeneindruckes gar nicht ankommt auf die physikalische Beschaffenheit der Strahlungen, welche in die Mischung eingehen, sondern lediglich auf die Farbeneindrücke, welche sie hervorbringen, so muss man schliessen, dass es sich dabei eben um das Zusammensein von physiologischen Zuständen der Netzhaut handelt gleichgültig, durch welche äussere Ursache dieselben bewirkt sind. Es kann daher kaum eine Hypothese sondern nur ein Ausdruck der Thatsachen genannt werden, wenn man überhaupt die verschiedenen Lichteindrücke als Zusammensein einiger weniger einfacher ansieht. Wie viele solche „Grundfarben“ man wähle und welche Farbentöne man ihnen beilegen will, bleibt allerdings in weiten Grenzen der Willkühr überlassen,

nur eine Bedingung muss erfüllt sein. Es müssen nämlich die den Grundfarben in unserer symbolischen Darstellung anzuweisenden Plätze die Eckpunkte eines Polygons bilden, das die von der ausgezogenen Curve und der punktirten Geraden begrenzte Fläche vollständig einschliesst, denn nur unter dieser Bedingung kann jeder Punkt dieses Flächenstückes Schwerpunkt eines in jenen Eckpunkten vertheilten Massensystemes sein, d. h. kann jede wirkliche Farbenempfindung als Zusammensein jener hypothetischen Grundempfindungen in bestimmtem Intensitätsverhältniss aufgefasst werden. Diese Bedingung schliesst wegen der unvermeidlichen Krümmung der das Spektrum darstellenden Linie den Satz ein, dass mindestens eine der Grundfarben vom Pol weiter abliegt, als die im Ton entsprechende Spektralfarbe d. h. gesättigter ist, als irgend ein durch wirkliche Strahlung in der unermüdeten Netzhaut hervorzubringender Farbeneindruck desselben Tones.

Wollen wir nun den Boden des rein Thatsächlichen verlassen, so können wir nach einer bestimmten möglichst wahrscheinlichen Annahme bezüglich der Zahl und des Tones der einfachen Farbeneindrücke suchen. Was zunächst die Zahl betrifft, so empfiehlt es sich natürlich sie auf die kleinste überhaupt genügende nämlich auf 3 zu beschränken. Hierin besteht die berühmte von Thomas Young aufgestellte Hypothese zur Erklärung der Farbenempfindung, welche neuerdings von Helmholtz und Maxwell weiter ausgebildet ist. Um den Ton der drei Grundfarben zu wählen, gehen wir davon aus, dass offenbar der grüne Farbenton eine besondere ausgezeichnete Stellung einnimmt schon dadurch, dass er im Spektrum keinen komplementären hat. Wenn man nun Grün als den Ton der einen Grundfarbe gewählt hat, so scheint mir die Wahl der beiden andern nur auf Roth und Blau fallen zu können, ich kann mich wenigstens nicht entschliessen mit Young und Helmholtz neben Grün und Roth Violett als dritte Grundfarbe gelten zu lassen, und zwar aus folgendem Grunde. Die drei Grundfarben sollten nämlich, wie mir scheint, so gewählt sein, dass die drei Unterschiede zwischen je einem derselben möglichst gleich gross sind. Nun wird aber Niemand zweifelhaft sein, dass der Unterschied zwischen Roth und Violett viel kleiner ist als der zwischen Roth und Grün und als der zwischen Grün und Violett. Nimmt man dagegen als dritte Grundfarbe Blau und zwar genauer gesprochen einen der als Indigo gemeiniglich bezeichneten Töne, so tritt dieser Missstand nicht in dem Maasse hervor. Zwischen Roth und Blau ist wohl nach dem allgemeinen Urtheil der Unterschied ebenso gross wie zwischen Blau und Grün. Dagegen dürften

manche den Unterschied zwischen Roth und Grün grösser schätzen, was aber vielleicht nur dem weiter oben schon berührten Umstand zuzuschreiben ist, dass sich wegen der besonderen Reizbarkeit der Netzhaut durch die betreffenden Strahlenarten die gelben Farbentöne der Aufmerksamkeit besonders häufig und stark aufdrängen. Als rothen Grundton möchte ich nicht sowohl den des äussersten spektralen Roth, das immerhin schon etwas zum Gelb (resp. Grün) hinneigt annehmen, sondern einen Farbenton der etwas mehr Aehnlichkeit mit Carminroth hat.

Hiernach wären den Grundempfindungen auf unserer Farbentafel Plätze anzuweisen in den Eckpunkten RGB eines gleichseitigen Dreieckes, welches das von der Spektralkurve und der Purpurlinie begrenzte Flächenstück vollständig einschliesst. Wie weit von W entfernt man die Punkte B, G und R auf ihren Fahrstrahlen setzen will, das bleibt freilich immer noch der Willkühr überlassen, ohne dass man einen Widerspruch gegen Thatsachen zu befürchten hätte. Es empfiehlt sich also die einfachste Annahme, d. h. die Punkte nur so weit hinauszurücken, dass das Dreieck GRB gerade eben die Fläche der wirklichen Farben vollständig einschliesst. Es verdient noch ausdrücklich erwähnt zu werden, dass die Repräsentation die drei Grundempfindungen durch drei Punkte (R, G, B) die von W gleich weit abstehen soviel heisst als annehmen, dass der Eindruck weiss dann entsteht, wenn die drei Grundempfindungen in gleicher Stärke vorhanden sind, denn der Schwerpunkt dreier Massen in R, G und B liegt alsdann in W nur, wenn die drei Massen gleich sind.

Der soeben entwickelten Hypothese hat schon Young selbst eine weitere anatomisch physiologische Bedeutung gegeben, die mit den oben ausgesprochenen Grundsätzen der allgemeinen Empfindungslehre im Einklang steht. Er nimmt nämlich an, dass in jedem Netzhauttheil, der aller Farbenempfindungen fähig ist, drei getrennte Nervenelemente vorhanden sind, die als ebensoviele Individuen gesondert empfinden und zwar in qualitativ verschiedener Weise, wie das eben für individuell verschiedene Nervenelemente und nur für solche möglich ist. Der einen Elementenart käme eben die specifische Energie des Grünempfindens zu, der andern die des Roth- und der dritten die des Blauempfindens. Es mag übrigens hier noch einmal ausdrücklich bemerkt sein, dass die drei Empfindungen, welche bei ausschliesslicher Reizung nur je einer Fasergattung zu Stande kommen würden, uns eigentlich unbekannt sind, da faktisch jede Strahlung, sei sie homogen, sei sie gemischt, keine der Fasergattungen ganz uner-

regt lässt. Wir bezeichnen die unbekannten hypothetischen Grundempfindungen nur mit den Namen der bekannten Farben, welchen sie im Sinne der Hypothese am ähnlichsten sein müssen. Bei dem sehr verwickelten Bau der kleinsten Netzhautpartieen wird die anatomische Möglichkeit der YOUNG'schen Annahme kaum bestritten werden können. Andererseits kann es auch keinen Einwand gegen diese Hypothese begründen, dass wir die totale Farbenempfindung einer Netzhautstelle nicht im Stande sind im Bewusstsein zu zergliedern, in ein räumliches Nebeneinander einer Grün-, einer Roth-, einer Blauempfindung, was doch die totale Farbenempfindung nach YOUNG's Hypothese in Wirklichkeit wäre. Die Möglichkeit einer solchen Zergliederung im Bewusstsein könnten wir nur dann erwarten, wenn es ausführbar wäre die drei specifisch verschieden empfindenden Elemente eines Netzhauttheiles von merklich verschiedenen Orten her zu erregen, resp. durch Bewegungen des Organes abwechselnd das eine oder das andere dieser Elemente demselben Reize darzubieten. Da dies aber wegen der Kleinheit des Abstandes zwischen den drei Elementen jedes Netzhauttheiles unausführbar ist, so tritt der Complex der drei Grundempfindungen stets als unauflösliche Einheit ins Bewusstsein, deren Qualität einer zweifach unendlichen Mannigfaltigkeit fähig ist, da sie von zwei stetig veränderlichen Grössen abhängt, nämlich den beiden Intensitätsverhältnissen der einen Grundempfindung zu den beiden andern.

Um den ganzen in der symbolischen Darstellung Fig. 49 niedergelegten Thatbestand der Lehre von den Farbenempfindungen aus der YOUNG'schen Theorie zu erklären, hat man noch folgende Annahme zu machen. Jede der drei Fasergattungen hat ihre eigenthümlichen Endapparate, deren Reizbarkeit durch Strahlungen eine verschiedene ist, derart dass die rothempfindenden Fasern besonders stark durch die Strahlen des Spektrums von geringer Brechbarkeit gereizt werden. Die grünempfindenden Fasern werden am stärksten erregt durch Strahlen mittlerer Brechbarkeit, die blauempfindenden am stärksten durch die stark brechbaren Strahlen.

Hat man eine Farbentafel nach dem Schema der Fig. 49 konstruirt, an welcher Alles lediglich Ausdruck von Thatsachen ist bis auf die drei Grundempfindungspunkte B, R, G, so kann man sofort drei Curven konstruiren, deren Abscissen die Schwingungszahlen der homogenen Strahlen bedeuten und deren Ordinaten die Stärke des Empfindens bedeuten, welche durch die verschiedenen Strahlen, wenn sie mit der Intensität 1 wirken, in den drei Fasergattungen erregt wird. Die Intensität 1 ist dabei so zu verstehen, dass dieselbe eine G e s a m m t-

empfindung von der Intensität 1 hervorruft. So sind in der Fig. 52 die Curven RR, GG, BB [1] nach den Maassen der Farbentafel Fig. 49

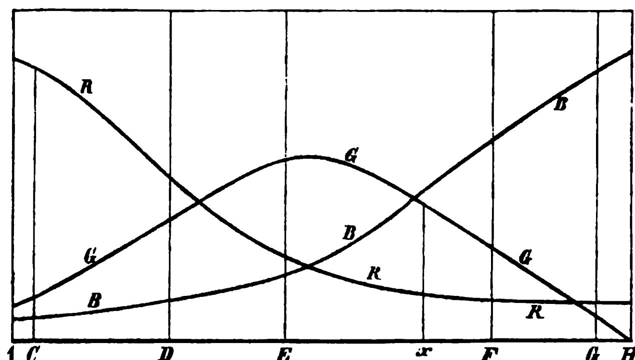


Fig. 52.

entworfen. Um ihre Richtigkeit auf die Probe zu stellen, sehen wir zu ob sie die Beziehungen der Complementärfarben erklären. Wir wissen dass die der Fraunhofer'schen Linie C entsprechende Strahlung komplementär ist zu der Strahlung, welche einer gewissen zwischen der Linie E und F entspricht. Es müssen also die drei Ordinaten über C in gleichem Verhältniss verkleinert addirt zu den entsprechenden Ordinaten über einem gewissen Punkte zwischen E und F (es mag etwa der Punkt x sein) drei gleiche Summen ergeben, da ja nach den gemachten Feststellungen der Eindruck weiss nichts anderes bedeutet als gleiche Erregung der drei Fasergattungen. Dass man die Ordinaten über C in einem gewissen Verhältniss verkleinern muss, entspricht der Thatsache, dass zur Empfindung Blaugrün mit der Intensität 1 complementär ist, die Empfindung Roth nicht in der Intensität 1, sondern in viel kleinerer. Nun zeigen die drei Ordinaten über C mit $^9/_{22}$ multiplicirt die Längen der drei Linien $r_1 r_2$ $g_1 g_2$ $b_1 b_2$ (Fig. 53) und die Ordinaten über x sind in ihrer ganzen Länge gleich Rr_1 Gg_1 Bb_1 die Summen Rr_2 Gg_2 Bb_2 sind daher untereinander gleich, wie es die Beziehung des Complementärseins der den Punkten C und x der Abscissenaxe entsprechenden Strahlungen verlangt.

---

1 Die hier gegebenen Kurven für die Reizbarkeit der drei hypothetischen Arten von Faserenden weichen wesentlich ab von denen, welche Maxwell und Helmholtz (Physiol. Optik. Fig. 119. S. 291) gegeben haben und welche vielfach reproducirt sind. Der Unterschied ist aber nicht bedingt durch einen principiellen Unterschied der Auffassung, sondern dadurch, dass Maxwell und Helmholtz gleiches Maass der physikalischen Strahlungsenergie voraussetzen, ich dagegen gleichen physiologischen Gesammteffekt.

Für das Verständniss der in den letzten Paragraphen entwickelten Theorie ist es gut noch einen Satz ausdrücklich auszusprechen, von dem in den Entwickelungen eigentlich schon stillschweigend Gebrauch gemacht ist. Er lautet so: der Erregungszustand in jeder Fasergattung ist unabhängig von dem in den beiden andern und wenn ein zusammengesetzter Reiz die Netzhaut trifft, so ist die Erregung jeder Faserart die Summe der Erregungen, welche die Componenten des Reizes für sich darin hervorbringen würden.

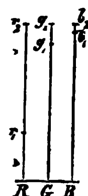


Fig. 53.

Wir haben gesehen dass die bis hierher zur Sprache gebrachten Thatsachen der Farbenempfindung sämmtlich aus der Theorie YOUNG's erklärt werden. Sie ist aber im Stande auch noch eine Fülle anderer Erscheinungen zu erklären, von denen im weiteren Verlaufe der Darstellung zu handeln sein wird. Ueberhaupt ist mir nur eine einzige Thatsache dieses Gebietes bekannt, welche nicht auf das Ungezwungenste aus der YOUNG'schen Theorie gefolgert werden könnte. Sie besteht darin, dass jede Strahlung die einen noch so gesättigten Farbeneindruck macht, sowie sie eine einigermaassen ausgedehnte polare Netzhautpartie trifft, einen weisslichen Eindruck hervorbringt, in welchem oft gar kein Farbenton mehr zu erkennen ist, wenn ihre Wirkung auf eine sehr kleine Netzhautpartie beschränkt wird. So giebt es bekanntlich viele Sterne deren Strahlung der spektroskopischen Untersuchung zufolge einen sehr entschieden farbigen Eindruck machen sollte, und dennoch sehen dieselben wie weisslich glänzende Punkte aus, an denen der Farbenton kaum erkennbar ist. An farbigen terrestrischen Objekten hat namentlich AUBERT [1] planmässige Versuche gemacht, die zeigen, dass, sowie der Gesichtswinkel, unter welchem sie erscheinen, unter eine gewisse Grenze sinkt, kein Farbenton mehr erkennbar ist. Dass hiervon die Theorie YOUNG's so unmittelbar wenigstens nicht Rechenschaft giebt, bedarf keines besonderen Beweises. Ebensowenig kann YOUNG's Theorie die hierhergehörige Beobachtung E. FICK's [2] erklären, dass an mehreren getrennt nebeneinander gesehenen sehr kleinen farbigen Objekten der Farbenton oft noch erkannt wird, wenn er an einem einzigen unter demselben Gesichtswinkel erscheinenden Objekte nicht mehr erkannt werden kann.

---

1 AUBERT, Physiologie der Netzhaut. 2. Abschn. 1. Cap. Breslau 1864.
2 E. FICK, Arch. f. d. ges. Physiol. XVII. S. 152.

IV. Farbenton abhängig von der Stärke des Reizes.

Die sämmtlichen in den vorstehenden Paragraphen dargestellten Lehren haben nur unter der noch nicht ausdrücklich ausgesprochenen Voraussetzung Geltung, dass die Strahlung, welche die Lichtempfindung hervorruft, einen mittleren Intensitätsgrad besitzt. Lässt man irgend eine Strahlung, sei sie homogen oder gemischt entweder in ausserordentlich geringer oder in enorm grosser (blendender) Intensität auf die Netzhaut wirken, so entsteht eine Lichtempfindung ohne bestimmbaren Farbenton, d. h. die Empfindung weiss, die man bei geringem Intensitätsgrade bekanntlich grau nennt. Was die Richtigkeit des Satzes bezüglich der minimen Intensitätsgrade betrifft, so wird sie schon durch das alte Sprichwort „bei Nacht sind alle Katzen grau" bewährt. Doch ist es von Interesse zu untersuchen, welche Farbentöne bei abnehmender Intensität zuerst aufhören erkennbar zu sein. Ausgedehnte Versuchsreihen hat hierüber Aubert[1] mit Pigmentfarben angestellt, von deren Ergebnissen besonders das hervorzuheben ist, dass am Zinnoberroth bei geringerer Beleuchtungsstärke schon ein Farbenton erkennbar ist als am Ultramarinblau, dass aber dies letztere heller erscheint als jenes, obwohl bei mittlerer Tageshelligkeit das Zinnoberroth entschieden den helleren Eindruck macht.

Lässt man eine homogene Strahlung in ausserordentlicher Helligkeit wirken, so geht am leichtesten Violett in weiss über. Die anderen Farbentöne gehen bei Steigerung der Helligkeit meist mit Aenderung ihres Tones ebenfalls in weiss über und zwar nimmt merkwürdigerweise diese Aenderung des Tones bei verschiedenen eine entgegengesetzte Richtung. Blau nämlich geht durch blass violett in weiss über, Grün durch gelblichgrün. Der rothe Farbenton wird blassgelblich und es gelingt nach Helmholtz selbst bei der blendendsten Helligkeit nicht ihn vollständig in weiss überzuführen.

Diese sämmtlichen Erscheinungen sind ohne allen Zwang mit der Young'schen Theorie zu vereinigen. Man braucht nur die durchaus plausibele Annahme zu machen, dass bei äusserst geringen und äusserst hohen Intensitätsgraden der Strahlen die Erregbarkeitskurven der drei Fasergattungen nicht mehr den Fig. 52 gezeichneten Gang einhalten, sondern nahe zusammenfallen. Noch genauer könnte man den Thatbestand graphisch darstellen, wenn man für jede Strahlenart drei Kurven konstruirte den drei Fasergattungen entsprechend deren Abscissen die Intensität der Strahlenart repräsentiren und deren

---

1 Aubert, Physiologie der Netzhaut. 2. Abschn. 2. Cap.

Ordinaten die durch die Strahlenart bei ihren verschiedenen Intensitätsgraden in den einzelnen Fasergattungen hervorgebrachte Erregungsstärke darstellen. In Fig. 54 ist eine solche Darstellung ver-

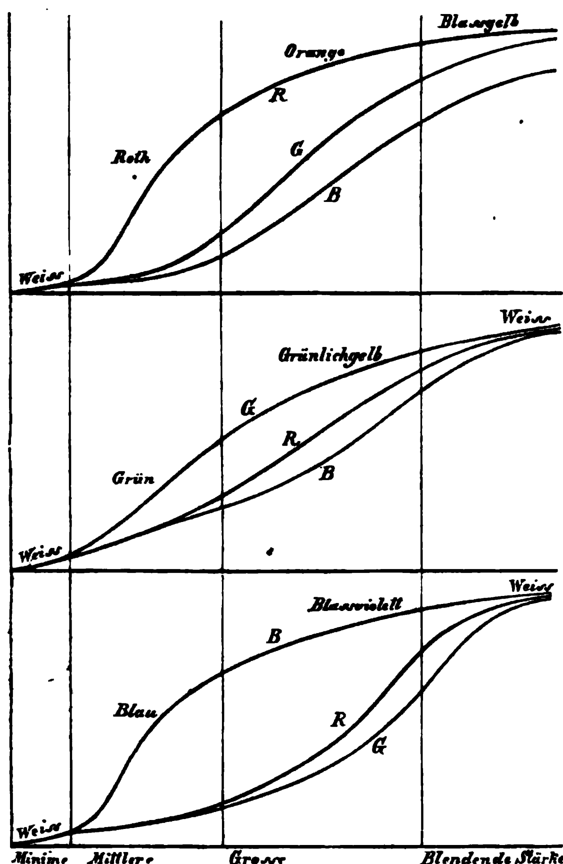


Fig. 54.

sucht. Das Kurvensystem *RGB* über der ersten Abscissenaxe stellt die Erregbarkeit der Roth, Grün und Blau empfindenden Fasergattung dar als Funktion der Stärke einer Strahlung die in mittlerer Stärke den Eindruck Roth macht also etwa der Strahlung, welche der FRAUNHOFER'schen Linie *C* entspricht. Das Kurvensystem über der zweiten Abscissenaxe bezieht sich ebenso auf eine Strahlung die bei mittlerer Stärke den Eindruck Grün macht, die also etwa dem Theile des Spektrums zwischen *E* und *F* entspricht. Das dritte Kurvensystem gilt ebenso für Strahlen die bei mittlerer Stärke den

Eindruck blau machen, etwa entsprechend der Linie *G* des Spektrums. Die 3 Ordinaten jedes Kurvensystems stehen in dem Intervalle, welches unten als mittlere Stärke bezeichnet ist, in demselben Verhältnisse untereinander wie die Ordinaten der Kurven *R*, *G*, *B* in Fig. 52 für die dem Kurvensystem entsprechende Wellenlänge. Für sehr grosse und sehr kleine Intensität gleichen sich die Ordinatenunterschiede aus.

V. Einige Methoden der Farbenmischung.

Die wichtigsten Sätze der Lehre von der Farbenempfindung namentlich die, welche sich auf die Eindrücke der gemischten Strahlungen beziehen, kann man sich durch eine Reihe anderer Methoden als der bisher beschriebenen zur Anschauung bringen. Eine erste Methode dieser Art ist von Helmholtz ersonnen und besteht darin, dass man einen V-förmigen Spalt durch Fernrohr und Prisma betrachtet. Die brechende Kante des Prisma muss dabei den Winkel zwischen den beiden Zweigen des Spaltes halbiren. Man sieht alsdann zwei schräg gezogene Spektra in theilweiser Deckung und an den einzelnen Stellen des beiden Spektren gemeinsamen Feldes kommen alle Paare homogener Strahlen zum Zusammenwirken. Man sieht also alle Mischfarben aus zwei homogenen Strahlen zugleich nebeneinander; gerade dadurch ist aber das Bild verwirrend und seine Zergliederung kann nicht wohl zu genauen Schlüssen führen, so belehrend auch für eine erste Orientirung sein Anblick sein mag.

Will man auf die Anwendung homogener Strahlen verzichten und bloss die auf Zusammenwirken schon gemischter Strahlungen bezüglichen Sätze demonstriren, so kann man verschiedene ohne grosse Hülfsmittel ausführbare Methoden anwenden. Dass aber zu diesen nicht etwa die Vermengung von Pigmenten zu zählen ist, das muss vor Allem mit einigen Worten gezeigt werden. Die Färbung einer Oberfläche durch ein Pigment beruht bekanntlich darauf, dass von der höchst gemischten (weiss aussehenden) Strahlung des diffusen Tageslichtes ein grosser Theil die Pigmentschicht durchsetzt von der Unterlage diffus zurückgeworfen wird, die Schicht noch einmal durchsetzt und dann zum Auge gelangt. Bei diesem zweimaligen Durchgange durch die Pigmentschicht werden nun Strahlen von gewissen Brechbarkeitsstufen besonders absorbirt und der Rest wird also einen mehr oder weniger gesättigten Farbeneindruck machen. Mengt man noch ein zweites Pigment dem ersteren bei, so hat das Licht beide zu durchsetzen und es werden der Strahlung, welche bei der Absorption im ersten übrig bleibt, noch weitere Antheile durch die Absorption im zweiten entzogen. Dies ist also nicht ein Weg, auf welchem man über das Zusammenwirken verschiedener Strahlenarten etwas erfahren kann. Es erscheint auch ein Gemenge zweier Pigmente stets dunkler als jedes Einzelne. Dem Vertrauen auf die Ergebnisse der Pigmentmengung verdankt der früher weit verbreitete Irrthum seine Entstehung, dass Gelb aussehendes und Blau aussehendes Licht zusammenwirkend den Eindruck Grün machten. Es trifft sich nämlich zufällig, dass

sowohl die gelben als die blauen Pigmente meist sehr erhebliche Mengen grün aussehendes Lichtes durchlassen, dass also dieses gerade übrig bleibt, wenn man Weiss aussehendes Licht gleichzeitig der Sichtung durch das gelbe und das blaue Pigment unterwirft.

Eine ebenso artige als einfache Methode um zwei Strahlungen auf der Netzhaut zusammenwirken zu lassen, die von verschiedenen gefärbten Oberflächen diffus zurückgeworfen werden, ist von Helmholtz angegeben und besteht darin, dass man die eine färbige Fläche schräg durch eine Glasplatte betrachtet und die zweite farbige Fläche so legt, dass ihr von der Vorderfläche der Glasplatte gespiegeltes Bild die erste Fläche deckt. Verschiedene Verhältnisse der Intensität beider Strahlungen kann man entweder durch verschieden helle Beleuchtung der beiden Flächen erzielen oder, indem man mehr oder weniger schräg durch die Glasplatte hindurchschaut. Die Vergrösserung des Winkels nämlich zwischen der Blickrichtung mit der Normale zur Glasplatte verstärkt die reflektirten und schwächt die durchfallenden Strahlen.

Bei weitem die vorzüglichste Methode zur Mischung von Pigmentfarben ist aber die rotirende Scheibe mit verschieden farbigen Sektoren. Da sie allein im Stande ist, genaue numerische Ergebnisse zu liefern. Sie gründet sich auf folgenden erst später zu beweisenden merkwürdigen Satz der Physiologie der Netzhaut. Wenn eine Netzhautstelle in regelmässiger periodischer Aufeinanderfolge von verschiedenen Strahlungen getroffen wird und die Dauer der ganzen Periode unter einer gewissen Grenze (etwa $^1/_{25}$ Sekunde) liegt, so kommt qualitativ und quantitativ die Empfindung zu Stande, welche auch zu Stande käme, wenn die verschiedenen Strahlenarten andauernd zusammenwirkten und zwar jede mit einer Intensität, welche sich misst durch den Quotienten ihrer jedesmaligen Dauer dividirt durch die Dauer der ganzen Periode.

Bewerkstelligt man also den periodischen Vorgang in der Art, dass man verschiedene Sektoren einer mehr als 25 mal in der Sekunde umlaufenden Scheibe mit verschiedenen Pigmenten bedeckt, so ist als Intensität einer Strahlung in Rechnung zu bringen der Centriwinkel des diese Strahlung aussendenden Sektors dividirt durch 360°. Natürlich ist dieser Quotient noch zu multipliciren mit einer Zahl, welche die specifische Helligkeit des Sektors im Verhältniss zu den Helligkeiten der anderen in derselben Versuchsreihe gebrauchten Sektoren ausdrückt.

Um auf der rotirenden Scheibe zwei verschiedene Gemische zu vergleichen steckt man auf dieselbe Axe eine grössere und eine kleinere Scheibe jede aus verschiedenen Sektoren gebildet, dann sieht man auf der Randzone das eine, in der Mitte, soweit die kleinere Scheibe reicht, das andere Gemisch, und kann eine sehr genaue Vergleichung anstellen.

Um die Winkel der Sektoren leicht beliebig verändern zu können nimmt man von jeder Farbe eine ganze Scheibe aus dünnem Pappdeckel, die aber längs eines Radius aufgeschlitzt ist. Man kann dann zwei oder mehrere so ineinander stecken, dass sie im Ganzen zusammenfallen, aber von den verschiedenen Scheiben auf der Vorderseite Sektoren sichtbar werden, deren Verhältniss durch Verdrehen beliebig verändert werden kann. Zur Vervollständigung gehören noch weisse und schwarze Scheiben. Die letzteren dienen dazu den gesammten Lichteindruck der durch

die ganze Periode hervorgebracht wird, zu schwächen, sofern man annimmt — was freilich nur annähernd richtig ist — dass ein schwarzer Sektor gar keine Strahlung aussendet.

Hat man die verschiedenfarbigen Sektoren der grösseren Scheiben so vertheilt, dass die Mischung den Eindruck weiss giebt, und will dies mit dem Weiss vergleichen, welches die von einem Papierblatte ausgesandte Strahlung hervorbringt, so darf man die kleinere Scheibe nicht ganz weiss lassen, denn alle farbige Papiere senden bei gleicher Beleuchtung viel schwächere Strahlungen im ganzen aus als weisses Papier und die weisse Mischfarbe der Randzone z. B. aus roth grün und blau wird viel schwächer leuchtend erscheinen als das weisse Papier in der Mitte. Schwächeres Weiss nennt man aber neben hellem weiss „grau“. Um das Weiss der kleineren Vergleichsscheibe auf dieselbe Stufe der Helligkeit abzudämpfen wie das Mischweiss der Randzone, muss man daher, wenn sie aus weissem Papier besteht, einen mehr oder weniger grossen Sektor derselben mit schwarz zudecken. Sie zeigt dann beim Drehen auch ein „grau“, welches nach einigem Probiren mit verschiedenen Verhältnissen des schwarzen und weissen Sektors leicht dem Mischgrau der Randzone völlig gleich gemacht werden kann.

Dieser Umstand hat vielfach Bedenken gegen die Beweiskraft der Versuche mit der Drehscheibe veranlasst. Namentlich ist der Spott berühmt geworden, welchen Goethe nicht müde wurde an dem „abscheulichen Grau“ auszulassen, welches die Physiker für weiss ausgäben. Um solchen Missverständnissen zu begegnen, kann man eine sehr artige Demonstration machen. Es kommt eben nur darauf an, die gedrehte Farbenscheibe mit einer weiss gebenden Mischung auf eine für den Zuschauer unsichtbare Weise zu beleuchten und daneben ein von ihm für weiss anerkanntes Papierblatt in schwächere Beleuchtung zu bringen. Man kann dies sehr leicht auf folgende Weise veranstalten, so dass es einer beliebigen Zuschauerzahl zugleich sichtbar ist. Auf die wagrechte Axe wird nur eine Scheibe gesteckt mit zwei oder drei farbigen Sektoren, welche weiss geben. Nahe davor stellt man senkrecht also parallel mit der Farbenscheibe ein Blatt von weissem Pappdeckel mit einem Loch, durch welches ein Theil der Farbenscheibe zu sehen ist, jedoch darf weder die Axe noch der Rand sichtbar werden. Die Hinterseite des Pappdeckels bildet nun ein Spiegel, welcher auf die Farbenscheibe starkes z. B. Sonnenlicht reflektirt, während die Vorderseite des weissen Pappdeckels schwächer beleuchtet ist. Wird jetzt die Scheibe gedreht, so kann man bei geeigneten Beleuchtungsverhältnissen das durch das Loch gesehene Mischweiss dem Weiss des Pappdeckels gleich oder auch noch viel heller erscheinen lassen. Diese Demonstration dürfte sich namentlich für akademische und andere Vorträge empfehlen.

Ausführliche Anweisung zur Construktion der Farbenempfindungen in Form einer Tafel nach Art der Fig. 49 auf Grund von Versuchen mit der Drehscheibe findet man bei Helmholtz und Maxwell.

VI. Hering's Theorie der Farbenempfindung.

In neuerer Zeit ist versucht worden die Young'sche Theorie von der Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen durch eine andere [1] zu ersetzen. Wenn ich auch diesen Versuch durchaus nicht für gelungen halte, so kann er doch hier nicht ganz mit Stillschweigen übergangen werden, da er eine zu namhafte Autorität auf dem Gebiete der physiologischen Optik nämlich Hering zum Urheber hat und wie es scheint in weiten Kreisen Beifall findet. Eine Darstellung geschweige denn eine Widerlegung dieser Theorie bin ich nicht im Stande zu versuchen, da ich offen bekennen muss, dass ich dieselbe nicht verstehe. Jede Theorie der Farbenempfindung muss nämlich offenbar von gewissen Thatsachen der inneren Anschauung ausgehen, die von Jedem mit normalem Gesichtsinne begabten Menschen ohne Weiteres anerkannt werden. Schon dies trifft nun wenigstens für mich bei Hering's Theorie nicht zu. Er behauptet nämlich die Veränderung des Empfindens von Weiss durch Grau zu Schwarz — wie es also beispielsweise stattfinden würde bei allmählicher Abminderung der Beleuchtung eines betrachteten weissen Papierblattes bis zu Null — sei eine qualitative Aenderung analog derjenigen, welche eintritt, wenn ich eine Fläche an dem Auge vorübergehen lasse, deren Theile mit verschiedenen allmählich in einander übergehenden Farbentönen gemalt ist.[2] Ich kann dies nicht zugeben. Ich finde in meinem Bewusstsein nur eine quantitative Aenderung ein und derselben Empfindung, wenn ich die Beleuchtung eines weissen Papierblattes im Gesichtsfelde allmählich vermindere bis es zuletzt schwarz erscheint, oder auf sonst eine Art alle Schattirungen des Grau bis zum Schwarz aufeinanderfolgen lasse. Ich finde diesen Vorgang durchaus demjenigen analog, wo ein bestimmter Klang mit abnehmender Intensität gehört wird bis er zuletzt in vollständiger Stille verschwindet. Dass das Wort Schwarz die Abwesenheit jeder Lichtempfindung und nicht eine Empfindung von bestimmter Qualität und variabeler Intensität bezeichnet geht auch daraus hervor, dass man von jeder beliebigen Lichtempfindung z. B. einer rothen oder grünen genau ebenso durch stetiges Abmindern ihrer Intensität zu schwarz gelangen kann wie von einer weissen.

Ganz direkt und thatsächlich muss ich aber Hering widersprechen wenn er[3] behauptet: „Gleichwohl ist es eine Thatsache der alltäglichen Erfahrung, welche ich jedoch nirgends besonders betont gefunden habe, dass die eigentlich schwarze Empfindung erst unter dem Einflusse des äusseren Lichtreizes zu Stande kommt“. „Man lege — fährt er zum Zwecke des Beweises fort — auf einen beliebigen Tisch ein Stück schwarzen Sammets und stelle sich so davor, dass es nicht glänzend erscheint, dann wird man ein ziemlich tiefes Schwarz sehen. Nun schliesse und verdecke man die Augen und vergleiche die Farbe des Gesichtsfeldes mit dem soeben gesehenen Schwarz: man wird zugeben müssen, dass die allerdings

---

1 E. Hering, Zur Lehre vom Lichtsinne. 6 Mittheilungen. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1872. Juni 1873. Dec. 1874. März. April. Mai.

2 Ibidem 1874. März. Seite 4 des Separatabdruckes.

3 Ibidem 1874. März. Seite 13 des Sonderabdruckes.

auch dunkle Farbe des Gesichtsfeldes dem Schwarz des Sammets nicht nahe kommt, möge man die Augen auch noch so lange geschlossen halten". Dies ist es eben, was ich durchaus bestreiten muss. Ich finde nämlich unter den angegebenen Umständen, dass auf der Netzhautstelle, welche dem Bilde des schwarzen Sammets entspricht, bei Verdeckung der Augen genau derselbe Empfindungszustand nämlich der fast völlige Mangel jeder Lichtempfindung einfach fortbesteht. Mir scheint zugleich in dieser thatsächlich irrigen Behauptung der Schlüssel dafür zu liegen, wie Hering zu der seltsamen Einreihung des Schwarz unter die positiven Farbenempfindungen verführt wurde. Während er sich sehr entschieden verwahrt gegen den Fehler, den er anderen Darstellern der Farbenempfindungslehre — meines Erachtens mit Unrecht — vorwirft, sie vermengten die Farbenempfindung mit den physikalischen Vorgängen, durch die sie hervorgerufen werden, verfällt er in den Fehler, die Farbenempfindung zu vermengen mit der Vorstellung eines farbigen Objektes, welche an die Farbenempfindung vom Verstande angeknüpft wird. Nur so ist es zu verstehen, dass dem Schwarz die rein negative Bedeutung abgesprochen wird. In der That entsteht die positive Vorstellung von einem schwarzen Objekte nur dann, wenn neben empfindungsleeren Netzhautstellen andere mit Farbenempfindungen erfüllt sind, und nicht wenn die Augen geschlossen und verdeckt sind. Wenn man sich klar macht mit welcher Gewalt namentlich gerade auf dem Gebiete des Gesichtssinnes der seelische Mechanismus wirkt, welcher aus dem Empfindungsmaterial sofort die Vorstellungen äusserer Objekte aufbaut, so ist es begreiflich wie schwer dieser Fehler zu vermeiden ist.

VII. Farbenblindheit.

Die in den vorigen Paragraphen erörterte Mannigfaltigkeit der Farbenempfindungen besteht nur, wenn es sich um Reizung von Netzhautelementen in der Polarzone handelt. Sowie das gereizte Element nur einige Millimeter von der Fovea centralis entfernt liegt, so ist es im Allgemeinen einer solchen Mannigfaltigkeit verschiedener Empfindungen nicht fähig. Es sind nur noch zwei Farbentöne nämlich gelb und blau zu unterscheiden, und die Mannigfaltigkeit aller möglichen Lichtempfindungen reducirt sich auf die Schattirungen des Gelb von mehr gesättigtem durch die blasseren bis weiss und von da durch blasse Schattirungen des Blau bis zu mehr gesättigtem Blau, und auf dem Gebiete dieser Mannigfaltigkeit ist, — was besonders betont werden muss — absolut kein stetiger Uebergang von einer gelben zu einer blauen Schattirung ausführbar, der nicht durch weiss hindurchginge. Die Mannigfaltigkeit ist also eine einfach unendliche und wäre graphisch darzustellen durch eine Linienstrecke ohne Ausdehnung in der zweiten Dimension.

Alle Strahlungen seien sie homogen oder gemischt, die am Pol

den Eindruck des Roth, des Gelb oder des Grün hervorbringen, machen auf der in Rede stehenden Zone den Eindruck des Gelb und zwar um so blasser, je grüner der Eindruck auf der Polarzone ist. Alle Strahlungen welche auf dieser den Eindruck des Blau und Violett hervorbringen, machen auf jener äusseren Zone den Eindruck des Blau und zwar ebenfalls um so blasser, je näher der Eindruck auf der Polarzone dem Grün kommt. Strahlungen die auf der Polarzone den Eindruck Blaugrün machen, sehen auf der äusseren weiss aus.

Noch weiter seitwärts gelegene Netzhautstellen bieten gar keine qualitativen Verschiedenheiten der Lichteindrücke dar. Jede Reizung derselben führt zur Empfindung weiss und es sind nur noch quantitative Unterschiede derselben möglich.

Die Grenzen dieser drei Netzhautzonen sind nicht ganz scharf, vielmehr schrumpft die zweifach unendliche Farbenmannigfaltigkeit der Polarzone allmählich aber ziemlich rasch zu der einfach unendlichen der mittleren und diese allmählich zur Unterschiedslosigkeit der Randzone zusammen. Sehr merkwürdig ist noch die Thatsache, dass die Ausdehnung der Zonen von verschiedenem Farbenunterscheidungsvermögen abhängig ist, von der Grösse des Netzhautbildes des farbigen Objektes. Die Farben werden nämlich um so weiter seitwärts noch vollständig oder theilweise erkannt, je grösser das Netzhautbild des farbigen Objektes ist. Bei überaus kleinem Netzhautbilde wird, wie schon oben (S. 199) erwähnt wurde, selbst mit der Polarzone der Netzhaut keine Farbe mehr unterschieden. Wenn man diese Schwierigkeit einstweilen bei Seite lässt, kann auch von dem mangelhaften Farbensinne der Seitentheile der Netzhaut die Young'sche Theorie sehr leicht Rechenschaft geben.

Es dürfte zu diesem Zwecke am natürlichsten folgende Hypothese [1] zu machen sein. Die drei specifisch verschieden empfindenden Fasergattungen sind auf der ganzen Netzhaut gleichmässig vertheilt, aber ihre Endapparate ändern ihre Reizbarkeit für verschiedene Strahlungen, wenn man von der Fovea centralis nach dem Rande geht, und zwar in dem Sinne, dass die Erregbarkeitsunterschiede die eine Gattung von Endapparaten für verschiedenartige Strahlungen zeigt, sich mehr und mehr ausgleichen, und dass auch die Unterschiede der Erregbarkeit der drei Gattungen von Endapparaten für dieselbe Strahlenart immer kleiner werden. Diese letzteren Unterschiede, so müssen wir insbesondere annehmen, sind für die End-

1 Fick, Zur Theorie der Farbenblindheit. Arbeiten aus dem physiologischen Laboratorium der Würzburger Hochschule. IV. Lieferung. S. 213. Würzburg 1878. Sep.-Abdr. aus den Verhandlungen der phys.-med. Gesellschaft.

apparate der roth- und grünempfindenden Strahlen schon in der mittleren Zone vollständig verschwunden.

Die drei Erregbarkeitskurven für homogene Strahlen nach der Weise entworfen, wie sie in Fig. 55 für die Polarzone gezeichnet sind, würden demnach für die mittlere Zone etwa die Gestalt der drei Curven *R G B* Fig. 55 zeigen. Die Curven *R* und *G* fallen eigentlich genau zusammen und es ist nur der Deutlichkeit wegen eine

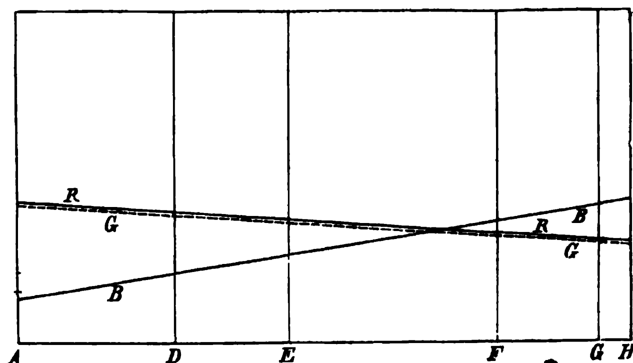


Fig. 55.

punktirte Linie neben eine ausgezogene gezeichnet. Für die Randzone fallen alle drei Curven in eine zur Abscissenaxe parallele Gerade zusammen. Es wird gut sein hier noch einmal ausdrücklich hervorzuheben, dass bei Construktion der Curven immer die verschiedenen Strahlungen auf solche Intensitäten gebracht zu denken sind, dass der totale physiologische Eindruck gleiche Intensität hat. Die objektive Energie muss also bei den wenigst brechbaren und bei den stärkst brechbaren Strahlungen sehr viel grösser gedacht werden, als bei den Strahlungen von mittlerer Brechbarkeit.

Es ist bemerkenswerth, dass die Reizbarkeit durch Licht überhaupt keineswegs auf den Seitentheilen der Netzhaut geringer ist als im gelben Fleck, wie man vielleicht nach den sonstigen Unvollkommenheiten der Seitentheile vermuthen könnte. Sie scheinen bezüglich der Reizbarkeit dem gelben Fleck eher überlegen zu sein. Es ist dies schon früher öfter behauptet worden und kürzlich durch exakte Versuche von Schadow[1] über allen Zweifel erhoben. Er fand, dass 30° seitwärts von der Fixationsrichtung ein Objekt bei geringerer Lichtstärke sichtbar ist als in derselben. Ein 60° seitwärts davon gelegenes Objekt muss allerdings stärker leuchten um wahrnehmbar zu sein als wenn es in der Fixationsrichtung liegt. Es wäre indessen denkbar, dass selbst auf dieser weit aussen gelegenen Zone die Reizbarkeit der Netzhaut noch ebenso gross oder grösser als im gelben Fleck ist und dass die Unsichtbarkeit gleich stark

1 Schadow, Arch. f. d. ges. Physiol. XIX. S. 499.

leuchtender Objekte die ihre Bilder dahin werfen nur daher rührt, dass diese Bilder selbst schwächer beleuchtet sind, weil die zu ihren Punkten gehenden Strahlenbündel wegen des schrägen Durchganges durch die Pupille weniger Oeffnung haben.

Bei einem namhaften Bruchtheil aller Menschen (wohl mehr als $^1/_{20}$), ist auch die Polarzone der Netzhaut nicht im Besitze der oben als normal geschilderten Mannigfaltigkeit von Farbenempfindungen. Man nennt solche Individuen farbenblind. Die Mannigfaltigkeit ihrer Farbenempfindungen ist mehr oder weniger gross. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Zustand einfach darin besteht, dass die Beschaffenheit der Netzhaut, welche beim normalen Auge erst auf einer gewissen mittleren Zone beginnt, beim farbenblinden Auge schon in der Fovea centralis stattfindet. Der Grad der Farbenblindheit würde dann um so höher zu nennen sein, einer je weiter auswärts gelegenen Zone der Netzhaut des normalen Auges die Fovea centralis des Farbenblinden in ihrer Beschaffenheit entspricht. Die totale Farbenblindheit würde darin bestehen, dass die ganze Netzhaut die Beschaffenheit der äussersten Randzone des normalen Auges besitzt.

Es scheint eine partielle abnorme Farbenblindheit zu geben, welche sich von der der mittleren Zone des normalen Auges der Art nach unterscheidet. Dies wäre wohl so zu erklären, dass ein anderes Paar von Erregbarkeitskurven der drei Fasergattungen kongruent würde, als das Paar für die grün- und rothempfindenden Fasern, was dann zu einem andern System von Farbenempfindungen führen würde. Da indessen dieser ganze Gegenstand mehr der Pathologie als der Physiologie des Auges angehört, so kann hier nicht in das Detail der verwickelten und zum Theil noch nicht ganz aufgeklärten Erscheinungen eingegangen werden.

Die Anhänger der Young'schen Farbenempfindungstheorie haben früher die abnorme sowohl als die normale Farbenblindheit der äusseren Netzhauttheile auf andere Weise zu erklären versucht. Sie nahmen an, dass da wo sich das Farbensystem auf eine einfach unendliche Mannigfaltigkeit zurückzieht eine Fasergattung z. B. die der rothempfindenden fehle. Ein Netzhauttheil aber, welcher bloss blau- und grünempfindende Fasern besitzt, wäre der Empfindung Weiss gar nicht fähig. Wo es sich nun um ein fremdes pathologisch farbenblindes Auge handelt, kann natürlich die Frage nicht entschieden werden, ob dasselbe die Empfindung weiss hat, denn es würde sie nach dieser Auffassungsweise gar nicht kennen. Bei der Farbenblindheit der mittleren Zone des normalen Auges ist diese Ausflucht nicht möglich, da es die Empfindung weiss von der Polarzone seiner Netzhaut her genau kennt. Noch schlagender wird aber diese Auffassung dadurch widerlegt, dass die Strahlungen, welche auf der Polarzone den Eindruck Grün machen, auf der mittleren Zone den des Gelb hervorbringen, während doch hier gerade die Erregung der Grün em-

pfindenden Fasern ganz ungestört durch die Erregung von Roth empfindenden hervortreten müsste, die betreffende Strahlung müsste also entschieden noch grüner aussehen als auf Netzhautstellen die mit rothempfindenden Faserenden versehen sind.

Man könnte allesfalls diese Einwände zu entkräften suchen mit der Behauptung, dass man nicht berechtigt wäre, den qualitativen Charakter der Farbenempfindungen auf weit entlegenen Netzhautstellen so ohne weiteres zu vergleichen. Ich will daher noch eine andere Betrachtung wenigstens andeuten, aus welcher wie mir scheint mit grosser Wahrscheinlichkeit hervorgeht, dass die Annahme des Fehlens einer oder zweier Fasergattungen die Reduktion der Fasermannigfaltigkeit auf den äusseren Zonen der Netzhaut niemals erklären kann. Wie schon oben bemerkt, ist der Uebergang von der zweifach unendlichen Mannigfaltigkeit auf der Polarzone zur einfach unendlichen auf der mittleren ein allmählicher. Man müsste also annehmen, dass die Erregbarkeit der rothempfindenden Fasern von Zone zu Zone abnimmt bis sie zuletzt Null wird resp. die rothempfindenden Fasern fehlen. Diese Abnahme der Erregbarkeit der rothempfindenden Fasern müsste aber offenbar für die wenigst brechbaren Strahlenarten am raschesten geschehen, da sich der Farbeneindruck derselben am schnellsten ändert wenn man von der Polarzone zu den Seitentheilen der Netzhaut übergeht. Wenn man sich für alle diese Zonen die drei Erregbarkeitskurven der drei Fasergattungen konstruirt, so würde es wahrscheinlich eine Zone geben, wo die Erregbarkeitskurve der rothempfindenden Fasern nahezu ähnlich unter der der grünempfindenden hinzöge. Für diese Zone würde sich dann aber die Farbenfläche reduciren auf eine Strecke eines Striches der von *B* Fig. 49 nach einem Punkte zu ziehen wäre, welcher die Seite *RG* im Verhältniss der Ordinaten der Erregbarkeitskurven *R* und *G* theilte, wo also die Mannigfaltigkeit der Farben eine einfach unendliche wäre ähnlich der oben (S. 207) beschriebenen. Dann aber bei weiterer Abnahme der Erregbarkeit in den rothempfindenden Fasern würde wieder eine doppelt unendliche Mannigfaltigkeit von Farbenempfindungen auftreten entsprechend einem Flächenstück gelegen in dem Dreieck oberhalb des vorerwähnten Striches. Dies würde der Fall sein auf solchen Zonen der Netzhaut, wo die Erregbarbeit der rothempfindenden Fasern zwar noch kleiner geworden wäre, aber die Ordinaten der Kurve nicht mehr proportional den Ordinaten der für die grünempfindenden Fasern geltenden Kurve. Zuletzt würde sich natürlich die ganze Farbenfläche auf die Linie *BG* der Figur zurückziehen. Es müsste also zwischen zwei Netzhautzonen mit einfach unendlicher Farbenmannigfaltigkeit eine solche mit zweifach unendlicher eingeschlossen liegen, wovon durchaus nichts wahrzunehmen ist.

Die mangelhafte Fähigkeit der seitlichen Netzhauttheile Farben zu unterscheiden ist in neuerer Zeit von zahlreichen Forschern [1] zum Gegenstande der Untersuchung gemacht wordrn, deren Ergebnisse zum Theil der vorstehenden Darstellung eingefügt sind.

---

1 Schelske, Arch. f. Ophthalmologie IX. S. 3; Schön, Die Lehre vom Gesichtsfelde und seinen Anomalieen. Berlin 1874; Klug, Ueber Farbenempfindung bei indirektem Sehen. Arch. f. Ophthalmologie XXI. S. 1; Holmgren, De la cécité des couleurs etc. Stockholm.

FÜNFTES CAPITEL.

Zeitlicher Verlauf der Netzhauterregung.

I. An- und Abklingen der Erregung. Reizung durch weisses Licht.

Da die Trägheit eine allgemeine Eigenschaft der Materie ist, so wird bei jeder Nervenreizung eine gewisse Zeit verstreichen von dem Augenblicke, wo der Reiz einzuwirken anfängt, bis zu dem, wo die Nervenmoleküle die Bewegungsgrösse erlangt haben, welche als merklicher Erregungsgrad bezeichnet werden kann. Ebensowenig können die Nervenmoleküle einmal in Bewegung gesetzt, momentan wieder zur Ruhe kommen, wenn der Reiz aufhört. Jede Erregung muss eine gewisse, wenn auch noch so kurze, Zeit den Reiz überdauern. Diese theoretisch vorauszusetzenden Thatsachen sind indessen keineswegs bei allen Arten der Nervenreizung experimentell erwiesen. So z. B. hat man bei der elektrischen Reizung motorischer Nerven bis jetzt kein „Stadium der latenten Reizung“ nachweisen können, während es bei der elektrischen Muskelreizung $^1/_{100}$ Sekunde beträgt. Dies rührt offenbar daher, dass die einer merklichen Nervenerregung entsprechende Bewegungsenergie ausserordentlich gering ist, so dass nur eine für unsere Beobachtungsmittel verschwindend kleine Zeit dazu gehört, sie den Nervenmolekülen durch den verhältnissmässig starken elektrischen Anstoss mitzutheilen. Dass andererseits eine Nachdauer der Erregung im motorischen Nerven nicht erweisbar ist, hat darin seinen Grund, dass das Reagens auf die Erregung nämlich die Muskelzuckung schon in ihrer einfachsten Gestalt eine ziemlich lange Zeit dauert, in welcher eine etwaige Nachdauer der Erregung des Nerven verschwinden würde. Benutzt man als Reagens auf den Erregungszustand die elektrische Stromschwankung, so könnte man allesfalls von einem Nachweis einer solchen Nachdauer sprechen, so fern in der That auf einen momentanen Reiz an jedem Punkte des Nerven ein Bewegungsvorgang statt hat, der eine merkliche Zeit dauert.

Die Trägheit der Sinnesnervenenden erscheint sehr verschieden. Die Tastnervenenden stehen in der Promptheit, womit sie auf ihren adäquaten Reiz den Druck reagiren und nach Aufhören desselben in den Ruhezustand zurückkehren oben an, denn es können gegen 1000 Einzelreize in einer Sekunde zwar nicht gezählt aber unter-

schieden werden. Auch die Gehörnervenenden vermögen vielleicht an 100 mal in einer Sekunde zwischen dem Zustande der Erregung und Ruhe zu wechseln, wie man bei der Wahrnehmung schwirrender Geräusche bemerken kann. Hinter den genannten Sinnen steht in dieser Beziehung der Gesichtssinn bedeutend zurück. Die verhältnissmässig träge Reaktion des Gesichtssinnes hat offenbar weniger ihren Sitz in den eigentlich nervösen Gebilden, als vielmehr in jenen Anhangsgebilden, wo, wie weiter oben gezeigt wurde, durch äusserst geringfügige Anstösse ein chemischer Process anhebt, der selbständig weiter geht und also erst allmählich zu voller Stärke entbrennt, dann aber auch nicht sofort erlischt, wenn die auslösende Ursache zu wirken aufgehört hat. Die letztere Thatsache des allmählichen „Abklingens" der Lichtempfindung nach Aufhören des Reizes, das oft viele Sekunden dauert, ist schon von Alters her bekannt und vielfach genau beschrieben. Schliesst und verdeckt man nämlich die Augen, mit denen man irgend welches helle Objekt betrachtet hatte, plötzlich, so dauert die Erregung in den gereizt gewesenen Netzhautelementen noch an und man hat daselbst Lichtempfindungen, deren nach aussen projicirte scheinbare Ursache das „positive Nachbild" des hellen Objektes genannt wird. Merkwürdigerweise ist dagegen die Trägheit der Netzhaut beim Entstehen der Erregung in der ersten Zeit nach dem Beginne des Reizes ganz unbeachtet geblieben. Soviel ich wenigstens sehe, bin ich selbst der erste gewesen, welcher die Aufmerksamkeit auf diese Erscheinung gelenkt hat.[1] Ich habe dafür die Bezeichnung „Anklingen" der Erregung vorgeschlagen, die wie es scheint, auch von Anderen passend gefunden wird und daher hier gebraucht werden mag.

Die Thatsache des allmählichen Anklingens der Netzhauterregung und das Gesetz seines zeitlichen Verlaufes habe ich einfach deducirt aus der längst bekannten Erscheinung der rotirenden Scheibe mit weissen und schwarzen Sektoren. Das Gesetz für das Aussehen einer solchen ist in grösster Allgemeinheit schon weiter oben vorgreifend ausgesprochen. Es ist unter dem Namen des Talbot'schen Satzes bekannt und mag hier noch einmal mit besonderer Rücksicht auf den vorliegenden Zweck in etwas speciellerer Fassung ausgesprochen werden: Wenn eine Netzhaustelle in regelmässig periodischem Wechsel während einer gewissen Zeit a durch Strahlen von gewisser Intensität (die den Eindruck weiss machen mögen) getroffen wird und während einer gewissen Zeit b vollständig unbestrahlt bleibt und

1 A. Fick, Ueber den zeitlichen Verlauf der Erregung in der Netzhaut. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1863.

wenn die Dauer $a + b$ der ganzen Periode weniger als etwa 0,04 Sekunden beträgt, so ist die Empfindung eine völlig stetige und von einer Stärke, wie sie einer andauernden Reizung des Retinastückes durch eine Strahlung von der Intensität $\frac{a}{a+b}$ entspricht. Ausdrücklich hervorzuheben ist noch die schon implicite im vorstehenden Satze enthaltene Behauptung, dass die Intensität der gleichmässig erscheinenden Empfindung vollständig unabhängig ist von dem absoluten Werthe der Periodendauer, wofern diese nur eben kurz genug ist, um eine konstante Empfindung zu geben. Eine solche periodische Bestrahlung einer Netzhautstelle kann man am leichtesten verwirklichen durch eine kreisförmige Scheibe, die in zwei oder $2n$ Sektoren getheilt ist, von denen die einen weiss die anderen schwarz sind und die man um eine zu ihrer Ebene im Mittelpunkt senkrecht stehende Axe so rasch dreht, dass der Vorübergang eines weissen und des nachfolgenden schwarzen Sektors zusammen nur etwa $^1/_{25}$ Sekunde dauert. Die Bedingung, dass die Netzhautstellen in periodischer Wiederholung eine Zeit lang unbestrahlt bleiben, ist allerdings nur annäherungsweise erfüllt, da eine noch so sorgfältig geschwärzte Papier- oder Sammetoberfläche immer noch Strahlen aussendet, indessen lassen sich doch an solchen gedrehten Scheiben die vorstehenden Sätze mit ausreichender Genauigkeit anschaulich machen. Vor Allem kann der Satz dass die Intensität des Lichteindruckes von der absoluten Dauer der Periode ganz unabhängig ist sehr schön demonstrirt werden, wenn man die gedrehte Scheibe so bemalt wie es in Fig. 56 angegeben ist.[1] Dreht man sie z. B. 25 mal in der Sekunde um, so dauert die Periode in welcher Bestrahlung und Beschattung wechseln für die innerste Zone gerade $^1/_{25}''$, für die mittlere Zone $^1/_{50}''$, für die Randzone $^1/_{100}''$, in allen drei Zonen aber dauert die Bestrahlung gerade die Hälfte der Periode und dem entspricht die genau gleiche scheinbare Helligkeit der drei Zonen. Um den Satz über die Grösse der Helligkeit genau numerisch zu bestätigen, bedarf es allerdings einer kleinen Modifikation der gedachten Scheibe, es müssen nämlich statt der schwarzen Sek-



Fig. 56.

1 Siehe HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 339.

toren Ausschnitte gemacht werden, durch welche man auf einen durch Beschattung absolut lichtlos gemachten Hintergrund sieht.

Wir wollen nun den Vorgang in einem Netzhautpunkte analysiren, welcher statthat, wenn er in stetiger Aufeinanderfolge und Wiederholung die Bilder der Punkte eines Kreises der Sektorenscheibe aufnimmt.[1] Wir tragen zu dem Ende in der Abscissenaxe *Od* Fig. 57 die Zeiten auf und errichten Ordinaten, welche die Intensität der Empfindung in dem durch den Fusspunkt dargestellten Augenblicke messen. Wäre der empfindende Apparat der Netzhaut ohne alle Trägheit, so würde sich die Kurve der Empfindungsintensitäten ausnehmen wie die geknickte Linie *Omnabopcd* u. s. w., wofern man durch die Strecke *Om* die Intensität der Lichtintensität misst, welche bei dauernder Einwirkung der vom weissen Sektor ausgesandten Strahlung stattfindet und wofern durch die Abscissenlänge *Oa* die Dauer des Vorüberganges eines weissen, durch *ab* die Dauer des Vorüberganges eines schwarzen Sektors dargestellt wird. Es würde die Empfindung zwischen den Werthen *Om* und Null fortwährend plötzlich schwanken. Sowie nun aber die Scheibe einigermaassen schnell gedreht wird, also die durch *Ob* dargestellte Zeit einigermaassen kurz ist, so bemerkt man, dass der Uebergang der Empfindungsintensität von ihrem Maximum zu ihrem Minimum und umgekehrt nicht ganz plötzlich stattfindet, was sich dadurch zu erkennen giebt, dass die Grenzen zwischen den vorübergehenden weissen und schwarzen Sektoren, sowohl auf der vorangehenden als auf der nachfolgenden Seite nicht vollkommen scharf, sondern verwaschen sind. Dies zeigt dass die Erregungskurve des einzelnen Netzhautelementes die Gestalt der punktirt gezeichneten Wellenkurven besitzt, womit schon die Thatsache des Anklingens und Abklingens der Lichtempfindung beim Eintreten und Aufhören des Reizes erwiesen ist.

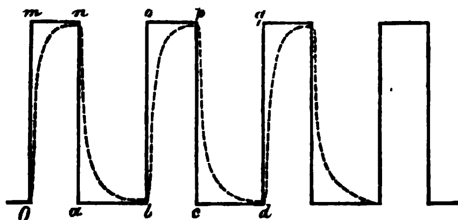


Fig. 57.

Wird nun die Periode noch kürzer (wird die Scheibe schneller gedreht, so bemerkt man leicht, dass der volle Werth der Lichtempfindung (= *Om*) und der Werth Null gar nicht mehr zu Stande kommen, sondern nur ein Auf- und Abwogen der Empfindung zwi-

---

1 Siehe A. Fick, a. a. O.

schen engeren Grenzen stattfindet. Dies ist auch auf Grund der schon gewonnenen Thatsache vorauszusehen, denn wenn der helle Sektor schon vorüber ist, ehe der volle Werth Om erreicht ist, so kommt er überhaupt gar nicht zu Stande, sondern die Empfindungsstärke sinkt herab von einem geringen Werthe und wenn alsdann der schwarze Sektor vorüber ist, ehe die Empfindung auf Null gesunken ist, so kommt auch dieser Werth nicht mehr zu Stande, sondern die Empfindung steigt in Folge der neuen Bestrahlung von einem endlichen Minimalwerthe wieder an. Offenbar wird alsdann die Empfindung durch den zweiten weissen Sektor höher hinauf getrieben werden als durch den ersten, weil sie eben mit einem höheren Anfangswerthe begonnen hat. Ebenso wird sie der zweite schwarze Sektor nicht so tief herabdrücken, als der erste schwarze, weil der Abfall mit einem höheren Werthe begann. So werden die Maxima und Minima sich von Periode zu Periode erhöhen, bis ein stationärer Zustand erreicht ist (und dies geschieht sehr bald) bei dem die Empfindung durch den nachfolgenden schwarzen Sektor um ebensoviel gemindert wird, als sie durch den vorhergehenden weissen Sektor vermehrt war. Der Vorgang wird sich also darstellen durch eine Curve wie die in Fig. 58 stark ausgezogene Zickzacklinie. Jede ganze Periode besteht aus einem kleineren und einem grösseren Zwischenraume zwischen je zwei Ordinaten, der erstere ist die Vorübergangszeit eines weissen, der letztere die eines schwarzen Sektors oder jener die Zeit des Reizes, dieser die Zeit der Reizlosigkeit. Das grau flimmernde Aussehen der mässig rasch gedrehten Scheibe entspricht ganz dieser Kurve.

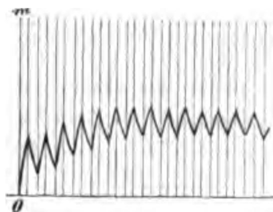


Fig. 58.

Selbstverständlich werden die Unterschiede zwischen den Maximis und Minimis des stationären Zustandes um so kleiner, je kleiner die Periode und ihre beiden Abschnitte werden, und es muss also bei einer gewissen Kleinheit der Periode dahin kommen, dass die Unterschiede unmerklich werden, d. h. dass die rotirende Scheibe gleichmässig grau aussieht und zwar tritt, wie schon bemerkt wurde dieses Unmerklichwerden der periodischen Helligkeitsänderung für mässige Tageshelle bei einer Dauer der Periode von etwa $^1/_{25}$ Sekunde ein.

Dass dies gleichmässige Grau nach übereinstimmenden Versuchen verschiedener Forscher ziemlich genau den $n$ten Theil der Helligkeit des weissen Sektors für sich zeigt, wenn sein Vorüber-

gang den $n$ten Theil der ganzen Periode bildet, offenbart eine sehr bemerkenswerthe Beziehung zwischen den beiden Functionen der Zeit, von welchen die eine das Anwachsen der Empfindung nach Beginn des Reizes und die andere das Abnehmen der Empfindung nach Aufhören des Reizes darstellt. Es muss nämlich für jeden bestimmten Werth der ansteigenden und abnehmenden Empfindung der $1/n$ von der vollen Empfindungsstärke für dauernde Reizung beträgt, die Steilheit der Kurve des Abklingens zur Steilheit der Kurve des Anklingens sich verhalten wie $1/n : 1 - \frac{1}{n}$. Es muss also insbesondere z. B. auf der halben Höhe der vollen Empfindungsstärke die Steilheit des Anklingens und Abklingens gleich gross sein. Für grössere Werthe der Empfindungsstärke muss die Steilheit des Abklingens grösser sein und für kleinere Werthe die Steilheit des Anklingens.

Die allgemeine Form der Kurve des Abklingens einer Lichtempfindung ist leicht anzugeben. Wenn man nämlich nach kurzdauernder nicht ermüdender Betrachtung eines weissen Objektes das Auge schliesst und verdeckt, so sieht man im dunklen Gesichtsfelde ein sogenanntes „positives" Nachbild des weissen Objektes das anfangs sehr schnell und dann immer langsamer an Helligkeit abnimmt. Die Kurve des Abklingens der Lichtempfindung muss also jedesfalls der Abscissenaxe die Konvexität zuwenden und etwa so aussehen wie fgh in Fig. 59, wo in der Abscissenaxe die Zeiten gemessen werden und als Ordinaten die jeweilige Erregungsgrösse aufgetragen ist. In dem durch c dargestellten Augenblicke hört der Reiz auf zu wirken, welcher bis dahin die Erregung auf der durch die Ordinate $be = cf$ gemessenen Höhe erhalten hatte. Es sinkt dann in der folgenden Zeit cd die Erregungsstärke nahezu auf Null herunter, anfangs rapide und dann immer langsamer, wie es dem Verlaufe der Kurve fgh entspricht. Konstruirt man nach dieser allerdings willkürlichen Kurve gemäss der aus dem Talbot'schen Satze gezogenen Folgerung die Kurve des Anklingens, so zeigt sich dieselbe als eine annähernd gerade Linie. Wenn also eine Strahlung, welche bei dauernder Einwirkung die Erregungsstärke be hervorbringt im Augenblicke a anfinge und im Augenblicke c aufhörte zu wirken, so würde sich der zeitliche Verlauf der Erregung etwa nach Maassgabe der

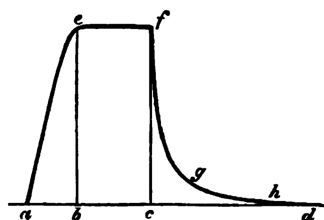


Fig. 59.

Kurve *aefgh* gestalten, d. h. sie würde während der ersten kurzen Zeit *ab* von Null bis *be* ansteigen, während der Zeit *bc* (von der Ermüdung abgesehen, annähernd) konstant bleiben und dann, wie vorhin schon beschrieben wurde, absinken.

Einfacher und schärfer lassen sich diese Entwickelungen in der Kunstsprache der mathematischen Analysis aussprechen.

Setzen wir eine bestimmte Reizstärke voraus, dann kann die Erregungsstärke x einmal als Funktion der Zeit t von dem Augenblick an wo der Reiz anhebt dargestellt werden und zweitens als Funktion der Zeit von dem Augenblick an, wo der Reiz aufhört, die erstere Funktion sei $x = F(t)$ die zweite sei $x = f(t)$. Wir bilden nun die Differentialquotienten

$$\frac{dF(t)}{dt} \text{ und } \frac{df(t)}{dt},$$

welche gleichfalls zwei Funktionen von t sein werden. Denkt man jetzt die beiden Gleichungen $x = F(t)$ und $x = f(t)$ gelöst nach t und den ersten Werth von t in die Funktion $\frac{dF(t)}{dt}$ den zweiten in die Funktion $\frac{df(t)}{dt}$ substituirt dann hat man zwei Funktionen von x die mit $\varphi\,(x)$ und $\chi\,(x)$ bezeichnet werden mögen.

Der Werth von $\varphi\,(x)$ für einen bestimmten Werth von x stellt dann die Steilheit dar, mit welcher während der Wirkung des Reizes beim Anklingen die Erregung von dem bestimmten erreichten Werthe x aus weiter wächst; und der Werth von $\chi\,(x)$ für einen bestimmten Werth bedeutet die Steilheit mit welcher während einer Pause des Reizes die Erregung von dem erlangten bestimmten Werthe x weiter sinkt. Nun sei τ der sehr kleine Werth der Periode und während der Zeit $\frac{m}{m+n}\tau$ dauert die Bestrahlung während der Zeit $\frac{n}{m+n}\tau$ die Nichtbestrahlung. Zeit der Bestrahlung und Pause verhalten sich also wie $m:n$. Dann ist die Bedingung dafür, dass beim Erregungswerthe x der Erregungszustand stationär bleibt die Gleichung

$$x + \frac{m}{m+n}\tau \,.\, \varphi\,(x) + \frac{n}{m+n}\tau \,.\, \chi\,(x) = x \text{ oder}$$
$$m\,\varphi(x) + n\,\chi(x) = o$$

denn nur wenn diese Gleichung erfüllt ist, nimmt der Erregungswerth x während der Bestrahlungszeit $\frac{m}{m+n}\tau$ um dieselbe unmerkbar kleine Grösse zu, um welche er in der nachfolgenden Zeit $\frac{n}{m+n}\tau$ der Nichtbestrahlung wieder abnimmt. Diese Gleichung lässt erstens sehen, dass die Funktionen $\varphi\,(x)$ und $\chi\,(x)$ nothwendig entgegengesetzte Vorzeichen haben müssen, was sich übrigens ohnehin von selbst versteht. Andererseits lässt sie erkennen, dass der Werth von x, bei welchem nach dieser Gleichung der stationäre Zustand eintritt, unabhängig ist von der Perioden-

dauer τ und nur abhängt vom Verhältniss $\frac{m}{n}$ wie auch immer die Funktionen $\varphi(x)$ und $\chi(x)$ beschaffen sind.

Um unsere Gleichung mit dem Talbot'schen Satze in Beziehung zu setzen, bemerken wir, dass derselbe aussagt: der Werth von x, für welchen der stationäre Zustand eintritt, ist derselbe Bruchtheil der vollen Erregungsstärke bei dauernder Einwirkung der Strahlung wie der Zeitraum $\frac{m}{m+n}\tau$ von der ganzen Periode. Wir können indessen unbeschadet der Allgemeinheit den vollen Betrag der Erregungsstärke = 1 setzen und haben dann

$$x = \frac{m}{m+n} \text{ oder } \frac{m}{n} = \frac{x}{1-x}.$$

Durch Einsetzen dieses Werthes geht die obige Gleichung über in

$$x\,\varphi(x) + (1-x)\,\chi(x) = 0$$

durch welche jene oben schon ausgesprochene merkwürdige Beziehung zwischen den Funktionen des An- und Abklingens der Erregung festgestellt ist. Nehmen wir an die Funktion des Anklingens wäre wirklich, wie wahrscheinlich gemacht wurde, einfach $F(t) = ct$, dann wäre $\varphi(x) = c$ (Constant) und die Gleichung lautete dann

$$c\,x + (1-x)\,\chi(x) = 0 \text{ oder } \chi(x) = -c\,\frac{x}{1-x}$$

da aber

$$\chi(x) = \frac{d\,f(t)}{dt}$$

so hätte man

$$\frac{d\,f(t)}{dt} = -c\,\frac{x}{1-x} \text{ oder } \frac{dx}{dt} = -c\,\frac{x}{1-x}$$

oder endlich

$$-\frac{1}{c}\left(\frac{1}{x}-1\right)dx = dt$$

Das Integral dieser Gleichung ist

$$\frac{1}{c}\left(x - \log x\right) = t + \text{Const}$$

Die Constante bestimmt sich durch die Bedingung, dass zu Anfang der Zeit die volle Erregung 1 statthat, also für $t = 0$ $x = 1$ sein soll $\text{Const} = \frac{1}{c}$. Daher hat man schliesslich

$$t = \frac{1}{c}\left(x - \log x - 1\right)$$

worin die Definition der Funktion des Abklingens unter der Voraussetzung eines linearen Anklingens gegeben ist, freilich ist die Gleichung nicht nach x lösbar, so dass man $x = f(t)$ nicht algebraisch herstellen kann. Man könnte aber eine beliebig grosse Zahl von zusammengehörigen Werthen von x und t numerisch berechnen.

Nachdem in der dargestellten Weise die Thatsache des Anklingens der Lichtempfindung aus der längst bekannten Erscheinung der gedrehten Sektorenscheibe deducirt war, habe ich dieselbe auch

direkt gezeigt durch Versuche nach folgendem Plane: ein weisses Objekt wurde während einer sehr kurzen Zeit dem Auge dargeboten und hierauf sogleich graue Flächen von verschiedener Helligkeit. Dann war zu beurtheilen welchem dieser letzteren das nur kurze Zeit betrachtete weisse an Helligkeit scheinbar gleich war. Es zeigte sich nun schon bei diesen mit sehr unvollkommenen Hilfsmitteln angestellten Versuchen, was nach der Deduktion zu erwarten war. Je kürzer die Zeit war während deren das weisse Objekt wirkte, desto dunkler war das Grau, welchem es gleich erschien.

Später hat S. Exner[1] den experimentellen Beweis für die Thatsache des Anklingens der Lichtempfindung auf dem von mir mit höchst unvollkommenen Hilfsmitteln betretenen Wege noch einmal geführt, mit Hülfe eines sehr sinnreichen von Helmholtz erfundenen Apparates, der es gestattet zwei weisse Objekte nebeneinander während sehr kurzer Zeiten erscheinen zu lassen und zwar so, dass die objektiven Helligkeiten sowohl als die kleinen Zeiten, während welcher die beiden Objekte sichtbar sind, in jedes beliebige numerisch angebbare Verhältniss zu einander gesetzt werden können. Es zeigt sich dabei, dass ein an sich weniger helles Objekt durch längere Dauer seiner Wirkung eine ebenso intensive Lichtempfindung hervorrufen kann, wie ein helleres Objekt bei kürzerer Dauer. Der Apparat gestattet quantitative Resultate zu gewinnen, insbesondere lässt sich die Zeit bestimmen, innerhalb deren eine Lichtempfindung zu ihrer vollen Intensität anwächst. Diese Zeit ist wie zu erwarten war um so kleiner, je grösser die Intensität des Reizes oder die Helligkeit des Objektes an sich ist, und zwar nimmt sie sehr annähernd in arithmetischer Progression ab, wenn man die Helligkeit in geometrischer Progression wachsen lässt. Selbstverständlich kann dieser Satz nur bis zu einem gewissen sehr mässigen Grade der Helligkeit Geltung haben, da ja sonst bei sehr hohen Graden der Helligkeit ein negativer Werth der Zeit sich ergeben würde, was unmöglich ist. Nachstehende Tabelle giebt die numerischen Data für zwei Versuchsreihen von Exner.

Ein Lichtreiz vom Intensitätsgrade	bringt die volle Stärke der Empfindung hervor in	Differenzen der Zeit.
1	0,2873″	
2	0,2460	0,0413
4	0,2000	0,0466
8	0,1508	0,0492

1 S. Exner, Ueber die zu einer Gesichtswahrnehmung nöthige Zeit. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1868. October.

Ein Lichtreiz vom Intensitätsgrade	bringt die volle Stärke der Empfindung hervor in	Differenzen der Zeit.
1	0,2654	0,0478
2	0,2176	0,0432
4	0,1744	0,0556
8	0,1188	

Unter Anwendung gewisser durchaus zulässiger Hülfsannahmen lässt sich nach der in Rede stehenden Methode für einen bestimmten Helligkeitswerth die Abhängigkeit der jeweiligen Intensität der im Entstehen begriffenen Lichtempfindung von der Zeit, die seit Beginn des Reizes verstrichen ist, ziemlich genau bestimmen. Als Beispiel einer solchen Bestimmung giebt Exner folgende Tabelle:

Die Lichtempfindung erreicht von ihrer vollen Stärke	nach einer Einwirkung des Reizes von
1/10	0,008″
2/10	0,023
3/10	0,037
4/10	0,040
5/10	0,049
6/10	0,058
7/10	0,081
8/10	0,104
9/10	0,127
10/10	0,166

Stellt man diese Tabelle graphisch dar, indem man die Zeiten als Abscissen die erreichten Intensitäten als Ordinaten aufträgt, so erhält man bis zu der Ordinate, welche 8/10 der vollen Intensität entspricht sehr annähernd eine gerade Linie, was ich schon durch Zergliederung des Talbot'schen Satzes wahrscheinlich gemacht hatte.

II. An- und Abklingen der Erregung bei Reizung mit farbigem Licht.

Das Anklingen der Erregung nach Beginn des Lichtreizes ist vom Standpunkte der Young'schen Theorie in jeder Fasergattung ein Vorgang für sich und es ist im Sinne dieser Theorie keineswegs zu erwarten, dass die drei gleichzeitigen Vorgänge genau gleichen Schritt halten. Wäre der Gang des Anklingens in den roth-, grün- und blauempfindenden Fasern sehr verschieden, so müsste ein weisses Objekt in den ersten Momenten nach seinem Auftauchen im Gesichts-

felde gefärbt erscheinen. Davon nimmt man nun bei den Versuchen weder nach meiner noch nach der HELMHOLTZ'schen Methode etwas Entschiedenes wahr, woraus hervorgeht, dass der zeitliche Verlauf des Anklingens der Erregung bei Reizung mit weiss aussehender Strahlung in den verschiedenen Fasergattungen annähernd derselbe ist. Dahingegen zeigen sich sehr eigenthümliche Erscheinungen, wenn man farbig aussehende Strahlungen sehr kurze Zeit hindurch einwirken lässt.

Die ersten hierher gehörigen Angaben finden sich in dem oben citirten Aufsatze.[1] Ich hatte mit meinen unvollkommenen Apparaten schon bemerkt, dass bei sehr kurzer Einwirkung farbige Objekte anders gefärbt erscheinen als bei dauernder Betrachtung. Später hat auf meine Veranlassung KUNKEL[2] diesen Gegenstand genauer untersucht mit Hilfe des von EXNER angewandten Apparates und homogener Strahlungen. Er fand, dass das Spektrum überaus kurze Zeit betrachtet, ganz farblos und am rothen Ende verkürzt erscheint. Dauert die Einwirkung etwas länger, so scheint es aus einem rothen und blauen Theil zu bestehen und zwar erscheinen die bei dauernder Betrachtung grünen, blauen und violetten Theile nunmehr alle blau. Auf annähernd gleiche physiologische Intensität gebracht, bringen die rothen Strahlen am schnellsten die volle Erregungsstärke zu Wege, weniger schnell die blauen und am wenigsten schnell die grünen. Es wäre natürlich leicht diese Thatsachen auf dem Standpunkte der YOUNG'schen Theorie in ebenso viele Lehrsätze über die Erregungsweise der drei Fasergattungen durch Strahlen von verschiedener Schwingungszahl zu übersetzen.

Ebenso wie das Anklingen der Erregung wird auch das Abklingen derselben in jeder der drei hypothetischen Fasergattungen ein besonderer von den anderen unabhängiger Vorgang sein, und wenn diese drei Vorgänge zeitlich nicht ganz gleichen Schritt halten, so muss das Nachbild eines weissen Objektes nach und nach verschiedene Färbungen zeigen. Dies ist nun in der That schon vor langer Zeit beobachtet und als farbiges Abklingen der Nachbilder von FECHNER, PLATEAU, SEGUIN und Anderen beschrieben. HELMHOLTZ beschreibt in Uebereinstimmung mit FECHNER und SEGUIN die Reihenfolge der Farben, wenn man ein hell weisses Objekt auf dunkelm Grunde momentan betrachtet hat und nun das Auge schliesst

---

1 A. FICK, Ueber den zeitlichen Verlauf der Netzhauterregung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1863. S. 764.

2 A. KUNKEL, Ueber die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. Arch. f. d. ges. Physiol. IX. S. 197.

und verdeckt so, dass das positive Nachbild rasch aus dem ursprünglichen weiss durch grünliches Blau in Indigoblau, später in Violett oder Rosa übergeht. Dann folge ein schmutziges Orange, welchem sich oft noch ein sehr schwaches schmutziges Gelbgrün anschliesse. Die ersten Phasen im Abklingen der Nachbilder sind auf dem Standpunkte der Young'schen Theorie leicht dahin zu deuten, dass die Erregung der rothempfindenden Elemente anfangs am schnellsten, später am langsamsten abklinge und die der grünempfindenden anfangs am langsamsten und später am schnellsten, während die blauempfindenden zu Anfang und später bezüglich der Geschwindigkeit des Abklingens in der Mitte stehen. Bei den noch späteren Phasen des Abklingens der Nachbilder scheinen Einflüsse der Ermüdung mit ins Spiel zu treten, von welcher im Folgenden die Rede sein wird.

Bei längerer Betrachtung des Urbildes spielen diese Einflüsse von vorn herein eine Rolle und es wird dadurch die Reihenfolge der Farben im abklingenden Nachbilde verschiedentlich modificirt.

III. Ermüdung der Netzhaut.

Da in den Endapparaten der Sehnerven der Reiz durch Bestrahlung einen chemischen Process auslöst, welcher den Bestand des Apparates irgendwie ändern muss, so wird jeder folgende Reizanstoss denselben vermuthlich in einem andern Zustand treffen und also auch einen andern Effekt hervorrufen als der erste. Ob der Effekt in dem durch den ersten Reiz veränderten Apparat grösser oder kleiner ausfallen wird, lässt sich a priori nicht entscheiden. An sich ist es ebensowohl denkbar, dass die Veränderung durch den ersten Reizanstoss die weitere Veränderlichkeit (Reizbarkeit) erhöht, als dass sie dieselbe herabsetzt. In der That bemerkt man bei wiederholter Reizung eines Muskels sehr oft, dass die Wirkung jeder folgenden Reizung (die Zuckung) grösser ist als die der vorhergehenden. Das ist allerdings von vornherein sicher, dass eine solche Steigerung der Reizbarkeit bei einem dem Blutkreislaufe entzogenen reizbaren Gewebsstücke nicht ins Unbegrenzte dauern kann, denn durch jeden Reiz wird etwas von dem Vorrathe des dem chemischen Processe unterworfenen Materiales verbraucht, so dass dieser Vorrath schliesslich erschöpft werden müsste. Bei einem mit dem lebenden Körper noch verbundenen reizbaren Gewebsstücke kann freilich dieser Vorrath beständig durch die Ernährung neu ergänzt werden und diese kann auch die Produkte des chemischen Processes schnell wegführen, so dass es an sich nicht ganz undenkbar wäre, dass dennoch jeder

folgende Reiz das reizbare Gebilde in demselben Zustande (also bei gleicher Reizbarkeit) anträfe wie der vorhergehende, wenn nämlich die Ernährung mit der durch den Reiz gesetzten Zerstörung genau gleichen Schritt hielt. Wirkt die Reizung aber sehr energisch und in rascher Aufeinanderfolge oder gar stetig andauernd, so ist kaum zu erwarten, dass die Ernährung mit ihrer zerstörenden Wirkung gleichen Schritt halten kann, wir sehen daher bei den reizbaren Gebilden regelmässig auch im lebenden Körper einer energischen Reizung Veränderung der Reizbarkeit folgen, welche wenigstens auf die Dauer ausnahmslos in einer Verminderung besteht. Diese allen reizbaren Gebilden eigene Erscheinung nennt man die Ermüdung. Sie tritt um so leichter und früher ein, je energischer die in dem Gebilde verlaufenden Processe sind. An den Nervenfasern ist daher von Ermüdung nur schwer etwas wahrzunehmen, während die Muskeln verhältnissmässig rasch ermüden. Uebrigens beruht die Ermüdung überall wie es scheint, weit mehr auf der Anhäufung der durch den chemischen Process der Erregung gesetzten Produkte als auf der Erschöpfung des Vorrathes von zersetzbarem Material.

Wenn die reizbaren Endapparate der Netzhaut in dem eben definirten Sinne ermüdbar sind, so muss sich dies darin zeigen, dass bei andauernder Bestrahlung einer Netzhautstelle die Intensität der Erregung und folglich der Empfindung mit der Zeit abnimmt. Eine helle Fläche müsste also bei andauernder Fixation allmählich immer weniger und weniger hell erscheinen. Beim gewöhnlichen Sehen wird davon der ungeschulte Beobachter nichts gewahr, doch ist daraus keineswegs zu schliessen, dass diese Erscheinung nicht vorhanden ist, denn einmal pflegen wir selten ein und dasselbe Objekt sehr lange anhaltend zu fixiren, andererseits ist die Intensität einer gegenwärtigen Empfindung überhaupt schon sehr schwer mit der einer vergangenen zu vergleichen, besonders wenn die eine aus der andern durch ganz stetige Veränderung entstanden ist. In der That findet die fragliche Erscheinung statt und wird einem geübten Beobachter bei langdauernder Fixation irgend eines hellen Objektes schwerlich entgehen. Man kann sie aber auch dem Ungeübtesten durch einen sehr einfachen Kunstgriff leicht sichtbar machen. Man lasse ihn ein weisses Papierstück auf möglichst dunkelm Grunde 10—20 Sekunden lang scharf fixiren und schiebe nun ein grosses Blatt von demselben weissen Papier über Grund und Objekt hin, dann wird dem Beobachter die Stelle desselben, welche dem vorher gesehenen hellen Papierstück entspricht, bedeutend dunkler erscheinen als die Umgebung. Von dem vorher gesehenen hellen Objekt

wird, wie man sich auszudrücken pflegt, in dem hernach in grösserer Ausdehnung erhellten Gesichtsfelde ein dunkles, negatives Nachbild erscheinen. Diese Erscheinung muss — wenn auch bei ihren Einzelheiten noch andere Umstände im Spiele sind — im Grossen und Ganzen auf die Ermüdung der Netzhaut bezogen werden. Die Netzhauttheile nämlich, welche anfangs das Bild des hellen Objektes aufnahmen, werden erregt und ermüdet, während die, welche dem schwarzen Grunde im Bild entsprechen, unerregt und unermüdet blieben. Trifft hernach beim Vorschieben der grossen weissen Papierfläche dieselbe Strahlung beiderlei Netzhauttheile, so entsteht in der unermüdeten eine stärkere Empfindung, während in den ermüdeten die schwächere Empfindung fortbesteht.

Bei exakten Versuchen der beschriebenen Art gewahrt man leicht, dass das negative Nachbild um so dunkeler ist, je länger das helle Urbild fixirt wurde, was sich leicht aus dem Fortschreiten der Ermüdung erklärt, die man von vornherein zu erwarten Veranlassung hat. Es zeigt sich ferner, dass schon nach wenigen Sekunden das Nachbild verhältnissmässig sehr dunkel ist, d. h. dass schon nach wenigen Sekunden dauernder Erregung die Erregbarkeit durch Ermüdung sehr bedeutend vermindert ist, dass also die Endapparate des Sehnerven in sehr hohem Grade ermüdbar sind. Bei seinen oben erwähnten Versuchen hat Exner beobachtet, dass sogar schon nach Bruchtheilen einer Sekunde von dem Augenblicke an gerechnet, wo die Empfindung ihr Maximum erreicht hat, eine Schwächung durch Ermüdung bemerkbar wird. Er führt das nachstehende numerische Beispiel an:

Intensität der Erregung	nach Wirkungsdauer der Strahlung von
$^9/_{10}$	0,359″
$^8/_{10}$	0,486″
$^7/_{10}$	0,659″

Die Intensität der Erregung ist gemessen in Bruchtheilen des Maximums, welches sie bei der angewandten Strahlungsintensität erreicht. Die Wirkungsdauer ist gemessen vom Augenblicke des ersten Aufblitzens der Strahlung. Von den Zahlen der zweiten Spalte müsste also noch die Dauer von 0,166″ Sekunden abgezogen werden wenn man die Zeit von dem Augenblicke an messen wollte, wo die Intensität der Erregung ihr Maximum erreicht hat, denn bis zur Erreichung desselben waren eben 0,166″ verstrichen. (Siehe S. 220.)

Der weitere Gang der Netzhautermüdung war schon vorher von C. F. Müller[1] untersucht. Er betrachtete ein weisses Papierstück vor schwarzem Grunde eine bestimmte Zeit hindurch und liess plötzlich ein graues Papier von photometrisch gemessener Helligkeit daneben halten. Durch Probiren wurde ein Stück von solcher Helligkeit herausgefunden, dass es dem anhaltend fixirten weissen Papier gleich erschien. Dabei hatte sich herausgestellt, dass durch die Ermüdung die Erregung anfangs am schnellsten und dann immer langsamer abnimmt. Das während der ganzen Nacht ausgeruhte Auge ermüdet in den ersten 5 Sekunden viel mehr als das während des Tages allemal nur bis zum vollständigen Verschwinden aller Nachbilder geruhte. Nach den von Müller graphisch dargestellten Versuchsreihen lässt sich aus dem Gang der Ermüdung bei Abendversuchen ungefähr beurtheilen, wie viel das Auge durch den Gebrauch während des Tages an Erregbarkeit derart einbüsst, dass sich die Einbusse nur durch stundenlang dauernde Ruhe wieder ersetzen lässt. Es wird hiernach ein und dasselbe Objekt dem Auge beim ersten Blicke etwas über doppelt so hell erscheinen als am Abend dem nur flüchtig ausgeruhten Auge.

Bezüglich der Abhängigkeit der Ermüdung von der Stärke des Reizes hat Helmholtz[2] vermuthungsweise den Satz ausgesprochen, dass ihr relativer Werth unabhängig sei von der Reizstärke mit anderen Worten: die Einwirkung eines Reizes während einer bestimmten Zeit reducire gleichen Zustand des Auges vorausgesetzt die gesehene Helligkeit stets um denselben Bruchtheil ihres ursprünglichen Werthes wie gross oder wie klein auch die Reizstärke sei. Hauptsächlich um diesen Satz zu prüfen, hat auf meine Veranlassung C. F. Müller die soeben citirte Untersuchung unternommen und seine Versuche haben ergeben, dass der Satz jedesfalls innerhalb sehr weiter Grenzen der Reizstärke sehr annähernd gültig ist.

Ist das Urbild gefärbt und das hernach auf das ganze Gesichtsfeld einfallende Licht, welches Helmholtz das reagirende Licht nennt, gefärbt oder weiss, so treten am negativen Nachbilde eine Menge von mannigfaltigen Erscheinungen auf. Vom Standpunkte der Young'schen Theorie lassen sich dieselben alle zum Voraus ableiten und es ist daher für die Darstellung derselben ohne Zweifel eine grosse Erleichterung, sich auf den Standpunkt dieser Theorie zu stellen, wenn

---

1 C. F. Müller, Versuche über den Verlauf der Netzhautermüdung. Züricher Inauguralabhandlung 1866.

2 Helmholtz, Physiologische Optik S. 362.

man sie auch nicht für den endgültigen Ausdruck des wahren Sachverhaltes gelten lassen will.

Im Sinne der Young'schen Theorie wird man anzunehmen haben, dass wie die Erregung so auch die Ermüdung in jeder der drei hypothetischen Fasergattungen ein selbständiger von den beiden Anderen unabhängiger Vorgang ist. Es ist ferner die wahrscheinlichste Annahme, dass der absolute Ermüdungsgrad einer Fasergattung der Intensität der vorausgegangenen Erregung proportional ist. Aus diesen beiden Annahmen lassen sich die Erscheinungen der negativen Nachbilder farbiger Objekte bis ins feinste Detail ableiten. Führen wir dies zunächst an einem bestimmten Beispiel durch. Das Urbild sei ein grellrothes Flächenstück auf schwarzem Grunde d. h. ein Flächenstück, welches eine Strahlung aussendet, die vorwiegend die rothempfindenden Fasern erregt. Diese werden also auch vorwiegend ermüdet. Bedecken wir nun Objekt und Grund mit einer weissen Fläche, so werden alle Retinaelemente von einer Strahlung getroffen, welche im unermüdeten Element alle drei Fassergattungen gleich stark erregt. Die den Grund bedeckenden Theile der Fläche werden demnach wirklich weiss erscheinen. In den Netzhautelementen aber, in welchen durch das Urbild die rothempfindenden Fasern stärker als die beiden andern ermüdet sind, werden die blau- und grünempfindenden durch das weisse Licht stärker afficirt und es wird also auf der weissen Fläche ein blaugrünes Nachbild des rothen Urbildes erscheinen. Selbstverständlich hebt sich das blaugrüne Nachbild dunkel von dem weissen Grunde ab, da ja in seinem Bereiche auf der Netzhaut als einer ermüdeten die Gesammterregung geringer ist als in der vollständig unermüdeten Umgebung.

Schiebt man statt der weissen eine gelb aussehende Fläche vor das rothe Urbild und seinen schwarzen Grund, so erscheint darauf ein grünes Nachbild vom rothen Urbild. In der That erregt ja jetzt das reagirende Licht vorzugsweise die roth- und grün empfindenden Fasern wenig die blauempfindenden. Nun sind aber die rothempfindenden Fasern sehr ermüdet. Es muss also an den betreffenden Netzhautstellen die Rothempfindung zurücktreten und die Grünempfindung allein in sehr entschiedenes Uebergewicht kommen.

Die ganze Lehre von der Färbung negativer Nachbilder farbiger Objekte kann man in folgende Sätze zusammenfassen, die man als Folgerungen aus der Young'schen Theorie oder als Ausdruck der beobachteten Thatsachen ansehen kann. Sei A der Farbenton der Lichtempfindung, welchen die vom Urbilde ausgesandte Strahlung hervorbringt und B der, welcher dem reagirenden Lichte entspricht.

Der Farbenton des Nachbildes wird dann vom Farbenton B derart abweichen, dass er dem zu A komplementären Farbenton C ähnlicher wird. In diesem zwischen B und C liegenden Farbenton wird aber das Nachbild blasser (mehr grau) als das reagirende Licht erscheinen, wenn der Farbenton B dem A näher liegt als dem C und gesättigter wenn B dem C näher liegt als dem A. Interessant ist noch der specielle Fall, wo der Farbenton B des reagirenden Lichtes genau mit dem Farbenton C der zur Farbe des Urbildes komplementär ist übereinstimmt. In diesem Falle wird das Nachbild genau im Farbenton des reagirenden Lichtes erscheinen, aber noch gesättigter aussehen als dieses selbst. Diese Thatsache lässt sich wie HELMHOLTZ gezeigt hat selbst an Spektralfarben beobachten. Lässt man z. B. auf eine kleine Retinastelle blaugrünes Licht längere Zeit einwirken und hierauf nach Beseitigung desselben auf eine grössere Retinafläche, welche die erstere einschliesst, rothes homogenes Licht aus dem Spektrum, so erscheint in dem grösseren rothen Felde ein Nachbild des vorher blaugrünen Fleckes von so gesättigter Röthe, dass dagegen das Roth der Umgebung, wo die unermüdeten Netzhautelemente von dem homogenen rothen Lichte getroffen werden, blass erscheint. In dieser Thatsache liegt der Beweis des bemerkenswerthen Satzes, dass die Farbenempfindungen, welche durch homogene Strahlungen auf unermüdeten Netzhautstellen hervorgebracht werden, noch lange nicht die gesättigtsten sind, deren der Sehapparat überhaupt fähig ist. Diese kommen erst dann zu Stande, wenn homogene Strahlungen auf Netzhautstellen wirken, die zuvor durch die komplementäre Strahlung ermüdet sind. Im Sinne der YOUNG'schen Theorie entspricht dieser Satz der oben gemachten Annahme, dass jede homogene Strahlung im ermüdeten Netzhautelement jede der drei Fasergattungen erregt wenn auch vorzugsweise ein oder zwei derselben.

SECHSTES CAPITEL.

Erregung der Netzhaut durch andere Ursachen als Lichtstrahlung.

I. Mechanische und elektrische Reizung der Netzhaut.

Die Einstrahlung von Aetheroscillationen auf die Netzhaut ist keineswegs die einzige Einwirkung, welche ihre Elemente in denjenigen Bewegungszustand versetzen kann, welchem eine Lichtempfindung entspricht. Vor Allem ist es eine längst bekannte Thatsache, dass die Netzhautelemente sehr leicht von aussen mechanisch und elektrisch gereizt werden können. Jeder heftige Stoss auf das Auge füllt das ganze Gesichtsfeld mit einem intensiven Lichtblitze. Genauer kann man die Wirkung mechanischen Druckes erkennen, wenn man ihn in mässigem Grade auf einen beschränkten Theil des Augapfels wirken lässt der mit nervösen Netzhautelementen versehen ist, der also hinter dem Aequator liegt. Man verfährt am einfachsten so, dass man das Auge nach innen wendet und nun am äusseren Winkel mit dem Fingernagel oder einem abgestumpften Holzstifte gegen den Augapfel drückt. Man sieht alsdann bei geschlossenem Auge im dunkelen Gesichtsfelde eine lichte Scheibe mit dunklem Rande der noch einmal von einem hellen umsäumt ist. Der Ort dieses „Druckbildes“ oder „Phosphens“ liegt natürlich nasenwärts im Gesichtsfelde, da die Reizung eines schläfenwärts von der Axe gelegenen Netzhautpunktes selbstverständlich auf ein nasenwärts gelegenes äusseres Objekt bezogen wird. Drückt man oben, so erscheint das Phosphen unten im Gesichtsfelde und umgekehrt. Macht man den beschriebenen Versuch bei offenem Auge, so zeichnet sich das Phosphen im Ganzen dunkel im hellen Gesichtsfelde. Daraus ist zu schliessen, dass der Druck die von ihm getroffenen Netzhautelemente nicht nur reizt, sondern auch ihre Reizbarkeit für Strahlung herabsetzt.

Von den zahlreichen Erscheinungen, welche auf mechanische Erregung der Netzhautelemente zu beziehen sind, mag nur noch eine von Purkinje und Czermak unter dem Namen des Akkommodationsphosphens beschriebene erwähnt werden. Diese beiden Beobachter geben an, dass am äusseren Rande ihres Gesichtsfeldes, das durch Abhaltung äusseres Lichtes verdunkelt ist, eine lichte in sich ge-

schlossene Ringlinie aufblitzt, wenn sie von grösster Anstrengung des Akkommodationsapparates plötzlich zur Ruhe desselben übergehen. Czermak meint, dass diese Erscheinung zu erklären sei durch die Zerrung, welche die an der ora serrata gelegenen Netzhautelemente von der beim Nachlassen des tensor chorioideae sich plötzlich anspannenden Zonula Zinnii erleiden.

Bei der bekannten grossen elektrischen Reizbarkeit aller Nervenfasern ist es nicht überraschend auch die Opticusfasern elektrisch reizbar zu finden. In der That sieht man das ganze Gesichtsfeld hell aufblitzen wenn man einen elektrischen Strom, der Zweige durch das Auge sendet schliesst oder öffnet. Der Strom darf hierbei sogar äusserst schwach sein. Während der Dauer eines konstanten das Auge durchfliessenden Stromes zeigen sich auch noch einige Lichterscheinungen, die jedoch wohl nicht alle auf eine eigentliche Reizung der Nervenelemente des Auges durch den konstanten Strom zu beziehen sind, obwohl eine solche an sich nicht unwahrscheinlich ist, da andere sensibele Nerven auch durch den konstanten Strom in dauernder Erregung gehalten werden.

Wenn ein schwacher elektrischer Strom bei geschlossenem Auge aufsteigend durch den nervus opticus geleitet wird, so erscheint während seiner Dauer das dunkle Sehfeld heller und mehr blass violett. Die Eintrittstelle des Sehnerven soll dabei in den ersten Augenblicken als eine dunkle Kreisscheibe erscheinen. Geht unter gleichen Umständen der Strom absteigend durch den Sehnerven, so wird das Gesichtsfeld noch dunkler und röthlichgelb, wobei sich auch wieder die Eintrittsstelle des Sehnerven auszeichnen soll und zwar als hellere bläuliche Scheibe.

II. Eigenlicht der Retina.

Die Theile des Sehnervenapparates sind nun wie viele andere Nervenapparate z. B. die Gefässnerven die Hemmungsfasern des Vagus und so weiter auch dann meist nicht in vollständiger Ruhe, wenn keinerlei äussere reizende Einwirkung stattfindet. Man nennt bekanntlich eine derartige fortwährende Erregung in einem Nervengebiete, die durch innere Ursachen bewirkt wird, eine tonische. Da aber jede Erregung des Sehnervenapparates als Lichtempfindung zum Bewusstsein kommt, so wird hier die tonische Erregung die Folge haben, dass das Sehfeld auch bei vollständigem Abschluss des Auges gegen Einstrahlung und andere äussere Reize nicht absolut dunkel ist. Diese Lichterscheinungen ohne äusseren Reiz nennt man das „Eigen-

licht der Retina". Es ist im Allgemeinen nicht konstant, sondern besteht in allerlei bewegten, theils farbigen theils farblosen Flecken die Gestalt und Farbe beständig ändern. Die tonische Erregung des Sehapparates ist also in seinen verschiedenen Elementen offenbar in beständigem Auf- und Abwogen begriffen, was bei andern tonisch erregten Nervenapparaten wohl auch der Fall sein wird.

Was die reizenden Ursachen sind, welche die tonische Erregung hier zu Stande bringen, ist nicht mit Sicherheit zu sagen, doch dürfte wohl am meisten die Vermuthung für sich haben, dass es chemische Einwirkungen des Blutes auf nervöse Elemente sind, die wir ja auch im Gefässnervencentrum ziemlich sicher als eine von den Ursachen der tonischen Erregung ansprechen können. Diese Vermuthung würde noch die andere nach sich ziehen, dass die Stellen wo die Reize des Blutes einwirken nicht in den nur spärlich versorgten Nervenfasern zu suchen wären, sondern in den reichlicher damit gespeisten zelligen Elementen sei es an den peripherischen Enden in der Netzhaut oder an den centralen Enden im Hirn. Die Verstärkung des Eigenlichtes der Retina während eines den Opticus aufsteigend durchfliessenden Stromes und die Schwächung derselben während eines absteigenden scheint dafür zu sprechen, dass die Reizstelle im Centrum zu suchen sei, denn diese Stellen sind bei aufsteigendem Strome im Katelektrotonus bei absteigendem im Anelektrotonus und werden also in jenem Falle mehr, in diesem weniger erregbar sein. Aubert[1] schätzt auf Grund gewisser Versuche und Annahmen die Helligkeit des Eigenlichtes seiner Netzhaut gleich der Hälfte der Helligkeit, in welcher ein von der Venus in grösstem Glanze beschienenes Blatt weisses Papieres erscheinen wird. Jedesfalls ist übrigens die Intensität des Eigenlichtes der Retina eine sehr veränderliche Grösse.

III. Einwirkung der Netzhautelemente aufeinander. Contrast.

Höchst merkwürdig ist noch eine Gruppe von Lichterscheinungen, welche unter dem Namen des Contrastes zusammengefasst werden. Sie sind auch nicht hervorgebracht durch äussere Einwirkung auf die Netzhautelemente, in welchen sie zu Stande kommen, sondern durch die Einwirkungen von Seiten benachbarter Netzhautelemente, durch welche in jenen Erregung oder Modifikationen der Erregbarkeit bewirkt werden.

Die Grunderscheinung des Kontrastes ist von Alters her bekannt

---

1 Aubert. Handb. d. ges. Augenheilkunde II. 2. Hälfte. S. 486.

und besteht darin, dass jedes Helle in dunkler Umgebung heller, in noch hellerer Umgebung dunkler erscheint. Es giebt besonders zwei Versuche, in denen man diese Erscheinung sehr rein und schön zur Anschauung bringen kann. Man nehme eine Scheibe die wie Fig. 60 mit weissen und schwarzen Sektoren bemalt ist. Wird dieselbe mit der erforderlichen Geschwindigkeit um eine in ihrem Mittelpunkt zu ihr senkrecht stehende Axe gedreht, so sollte sie nach den früher entwickelten Sätzen in vier Zonen zerfallen, deren jede vollständig gleich hell erscheinen müsste und zwar die innerste ganz schwarz jede folgende nach aussen heller als die vorhergehende. Dies ist nun aber keineswegs der Anblick den die gedrehte Scheibe bietet, vielmehr erscheint jede Zone an ihrem inneren Rande, wo sie an die dunklere Zone grenzt heller, am äusseren Rande dunkler und dazwischen aufs zarteste abschattirt. Vielleicht noch sauberer und beweisender ist der Versuch, wenn man vor einer weissen Fläche eine Reihe von etwa vier Kerzen aufstellt und nun dazwischen bis gegen die Mitte der Reihe einen undurchsichtigen Schirm mit senkrechter gerader Kante vorschiebt. Dann wird ein Theil der weissen Fläche von allen vier Kerzen beleuchtet sein, dann folgt ein senkrechter Streif, der nur von dreien, dann einer der nur von zweien beleuchtet ist u. s. w. bis zu dem Theil der Fläche, welcher von keiner Kerze Licht erhält. Jeder dieser Streifen ist in seiner ganzen Breite gleich stark beleuchtet und doch erscheint er auf der Seite, wo er an den dunkleren grenzt heller, auf der andern dunkler und dazwischen zart abschattirt. Keine Erklärung liegt wohl für diese Erscheinungen näher als die, dass eben eine starke Erregung einer Netzhautstelle die Erregbarkeit in den übrigen herabsetzt und zwar um so mehr, je näher sie ihnen liegt. Diese Annahme ist auch schon längst stillschweigend gemacht oder ausgesprochen. Sie ist aber in neuerer Zeit von Helmholtz ganz in den Hintergrund gedrängt worden, der diese und viele ähnliche Erscheinungen lediglich auf eine Täuschung in der Beurtheilung der Helligkeit bezogen wissen wollte, etwa wie man einen mittelgrossen Mann neben einem kleinen für gross, neben einem grossen für klein hält. Nur vereinzelte Stimmen haben sich immer wieder jener näher liegenden Erklärung zugewandt, aber vor


Fig. 60.

einigen Jahren ist es wie mir scheint HERING[1]) gelungen, durch scharfsinnige Zergliederung der Thatsachen und neue Modifikationen der Versuche unwiderleglich festzustellen, dass die Contrasterscheinungen wesentlich auf einer Aenderung der Erregbarkeit der einen Netzhautstelle durch Reizung der benachbarten beruhen.

Eine Erscheinung, welche sehr schlagend die in Rede stehende Annahme beweist besteht darin, dass ein negatives Nachbild auf einer hellen Fläche sich zusehends mehrere Sekunden lang verdunkelt. Durch Täuschung des Urtheils kann dies nicht erklärt werden.

HERING hat aber ferner gezeigt, dass die Einwirkung benachbarter Netzhautstellen aufeinander nicht lediglich in Herabsetzung der Erregbarkeit der einen bei Reizung der andern besteht. Vielmehr kehrt sich bei sehr anhaltender Reizung der Erfolg um, so dass in der nicht oder schwach gereizten die Erregbarkeit zunimmt resp. eine Erregung inducirt wird. In der That, fixirt man ein helles Objekt auf dunklem Grunde sehr andauernd, so tritt nur in der ersten Zeit die vorhin beschriebene Contrasterscheinung hervor, dass nämlich der dunkle Grund in der Nähe des hellen Objektes noch dunkler erscheint. Allmählich verbreitet sich um das helle Objekt ein lichter Schimmer, der namentlich bei plötzlicher Schliessung der Augen im nunmehr ganz verdunkelten Gesichtsfelde als sehr heller Saum, um das tief dunkle Nachbild des hellen Objektes aufleuchtet. HERING hat diesen Versuch noch mannigfach modificirt und eine ganze Reihe von Erscheinungen beschrieben, die sich entschieden nicht durch Urtheilstäuschungen erklären lassen.

Wendet man bei den Contrastversuchen statt weisses Lichtes farbiges an, so treten auch in den beeinflussten Netzhautstellen Farbenerscheinungen auf, die im Sinne der YOUNG'schen Theorie etwa dahin zusammengefasst werden können, dass die Erregbarkeit derjenigen Fasergattung der nicht gereizten Elemente am meisten vermindert und in der späteren Phase am meisten erhöht wird, welche in den benachbarten gereizten Elementen am meisten erregt ist.

Die Annahme, dass benachbarte Netzhautelemente aufeinander wirken können, dürfte eine anatomische Grundlage finden in der wenigstens von manchen Autoren behaupteten Verknüpfung der zelligen Elemente der Netzhaut. Die Gesetze dieser gegenseitigen Einwirkung benachbarter Netzhautelemente bedürfen aber zweifellos noch weiterer Untersuchung.

---

1 HERING, Zur Lehre vom Lichtsinne. Sitzgsber. d. Wiener Acad. Juni 1872. December 1873.

ANHANG.

Einige unerklärte subjektive Lichterscheinungen.

Unter verschiedenen Umständen macht sich im Gesichtsfelde die dem gelben Fleck der Netzhaut entsprechende Stelle besonders bemerklich. Für jeden leicht wahrnehmbar ist eine solche Erscheinung bei intermittirender Beleuchtung. Wenn man z. B. die mässig gespreizten Finger einer Hand vor einem gleichmässig hellen Hintergrunde rasch hin- und herbewegt, so bedeckt sich das Gesichtsfeld mit flimmernden dunkeln Flecken und die dem gelben Flecke entsprechende Stelle zeichnet sich aus durch regelmässige Anordnung dieser Fleckchen, ganz in der Mitte erscheint ein genauer Kreis mit auffallend hellem Saume.

Der Kreis, welcher der Mitte des gelben Fleckes entspricht, erscheint manchen Beobachtern auch zuweilen in gleichmässiger konstanter Beleuchtung namentlich wenn dieselbe blau ist. Er soll dann von einem dunklen Hofe umgeben sein entsprechend der gefässlosen Zone des gelben Fleckes. Um den dunkeln Hof zeigt sich ein unbestimmt begrenzter genau kreisförmiger oder rhombischer heller Ring von HELMHOLTZ [1] als LOEWI'scher Ring bezeichnet.

Sieht man nach einer gleichmässig hellen Fläche durch eine polarisirende Vorrichtung z. B. durch ein NICOL'sches Prisma so erscheinen auf dem gelben Fleck die sogenannten HAIDINGER'schen Büschel. In weisser Beleuchtung zeichnen sich nämlich heller als der Grund und bläulich gefärbt zwei hyperbolisch jedoch verwaschen begrenzte Flecke aus. Die reelle Axe der Hyperbel, deren Mittelpunkt der fixirte Punkt ist, liegt senkrecht zur Polarisationsebene, so dass sich bei Drehung des Nicols vor dem Auge die ganze Erscheinung dreht. Um die Linie herum, in welcher die Polarisationsebene die Netzhaut schneidet, erscheint das Gesichtsfeld etwas dunkler und (in weisser Beleuchtung) gelblich gefärbt. Die ganze Erscheinung umspannt einen Gesichtswinkel von etwa 4°.

Da das Licht des hellen Himmels theilweise polarisirt ist, so nehmen manche Menschen die Büschel wahr, wenn sie nach dem blauen Himmel auch ohne polarisirende Vorrichtung sehen.

---

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 419.

Helmholtz[1] versucht die Erscheinung zu erklären durch die Annahme von Doppelbrechung in den Radialfasern des gelben Fleckes, welche hier etwas schräg von allen Seiten gegen die Mitte verlaufen.

Wenn man nach längerem Bücken den Kopf wieder erhebt und nach einer gleichmässig hellen Fläche sieht, so sieht man oft auf derselben zahlreiche kleine helle Ringelchen mit heller Mitte in verschlungenen Bahnen herumlaufen. Sie haben grosse Aehnlichkeit mit mikroskopisch gesehenen Blutkörperchen. Dies hat wohl manche Autoren veranlasst, sie für eine Erscheinung der Blutkörperchen in den Capillaren der Netzhaut zu halten. Die übrigen Umstände namentlich die Vereinzelung der Ringelchen und die Form ihrer Bahnen verbieten indessen eine solche Erklärung entschieden.

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 422.

DRITTER THEIL.

CHEMISCHE VORGÄNGE IN DER NETZHAUT

VON

PROF. DR. W. KÜHNE IN HEIDELBERG.

So lange man die Netzhaut kennt, weiss man wie ausserordentlich veränderlich sie ist: im Leben als höchst durchsichtiger Ueberzug dem Augengrunde glatt und spiegelnd angeschmiegt, wird sie im Tode schnell weisslich trübe, hebt sich faltig ab und zeigt ihre Elemente im Zerfalle begriffen. Die Untersuchung frischer unveränderter Thieraugen hat darum gewöhnlich mehr zur Erkenntniss der Netzhaut beigetragen als die der selten brauchbaren vom Menschen, und erst als man wusste, worauf bei letzteren besonders zu achten und welche Eigenthümlichkeiten an der menschlichen Netzhaut vorauszusetzen seien, ist das in wenigen Ausnahmsfällen zugängliche, kostbare Material lebensfrischer, menschlicher Augen mit Vortheil verwendet worden. Da die Physiologie der Sinne sich aus guten Gründen mit Vorliebe an die menschlichen Sinnesorgane, deren Leistungen uns allein vollkommen bekannt werden können, wendet, ist unser lückenhaftes Wissen vom Baue und von der Zusammensetzung der menschlichen Netzhaut ausdrücklich hervorzuheben.

Die ersten cadaverösen Veränderungen der Retina bestehen in Trübungen der vorderen, aus marklosen Nerven und Ganglienzellen bestehenden Schichten, weniger der äusseren Körnerschicht, ferner in dem von MAX SCHULTZE besonders genau verfolgten Zerfalle der Stäbchen- und Zapfenaussenglieder zu Säulen dünner Plättchen, welches auch die Durchsichtigkeit dieser hinteren Schicht vermindert. Postmortale Lockerung der Stäbchenschicht vom retinalen Epithel findet nicht statt, sondern umgekehrt, trotz der Faltenbildung, eine festere Verbindung; ist die letztere im Momente des Todes schon vorhanden, so wird sie erst spät durch echte Fäulniss und Zerfliessen der betheiligten Gewebe gehoben. Das Auftreten eines Atlasglanzes

an der Stäbchenschicht, welches BOLL[1] für die erste Leichenveränderung genommen, ist unabhängig von der Plättchensonderung, und lebensfrischen, durch Licht noch erregbaren Netzhäuten ebenfalls eigenthümlich: es rührt von Schrägstellung und Verschiebungen der glänzenden Stäbchen gegen einander her und ist durch Zug und Druck sowohl hervorzurufen, wie stellenweise zu beseitigen. Längere Zeit nach dem Auftreten der deutlicheren, von der Plättchensonderung bedingten Querstreifung in den Stäbchen beginnt die Lockerung der Aussenglieder von den Innengliedern, wobei sich die ersteren oft als zusammenhängendes Häutchen, welches dem Epithel anhaften kann, abheben. Später krümmen sich die Stäbchen hirtenstabförmig und gestalten sich zu vollkommenen Ringen um.

Alle diese Veränderungen deuten auf einen hohen Grad chemischer Zersetzlichkeit der Retinaelemente, denn dieselben sind nicht bedingt von der allgemeinen, auch resistentere Gewebe bedrohenden Bakterienfäulniss, die sich freilich in der Netzhaut früh und ausnahmslos intensiv geltend macht, sondern fallen in die Zeit, wo wir nur in den zarteren nervösen Gebilden ähnliche, mit dem Aufhören des Zusammenwirkens einiger Lebensbedingungen verbundene, chemische Zersetzungen eintreten sehen; bei den Säugern und den Vögeln stellen sie sich schnell ein, bei den Amphibien sehr langsam, erst nach vielen Stunden, wenn die Temperatur nicht über 15 ° C. steigt und keine Flüssigkeiten zugesetzt werden. Einflüsse des Lichtes auf den Ablauf dieser Vorgänge sind nicht bekannt.

Da die ersten postmortalen Aenderungen an Geweben im Allgemeinen vom Aufhören der Blut- und Saftspeisung und von dem Erlöschen der Gewebeathmung abgeleitet werden, so sollte man die Retina wegen der Geschwindigkeit ihrer Veränderungen im exstirpirten oder absterbenden Auge für besonders reichlich mit Blutgefässen versorgt halten. Bekanntlich trifft dies im anatomischen Sinne nicht zu, denn es giebt sogar bei einzelnen Säugethieren (Pferd, Kaninchen) Netzhäute, welche genau genommen gar kein Blut empfangen, da bei ihnen nur die erste Ausstrahlung des Opticus gefässhaltig ist, und es kommen überhaupt keine Netzhäute vor mit anderen als grobmaschigen Capillarnetzen, welche sich niemals weiter nach hinten, als bis an die äussere Körnerschicht erstrecken, so dass die Stäbchen-Zapfenschicht überall gefässlos bleibt. Um so wichtiger würde hiernach die Kenntniss anderer Saftbahnen der Netzhaut sein; doch weiss man von ihren Lymphgefässen bekanntlich kaum mehr, als dass sie vom Opticus her

1 FR. BOLL, Zur Anatomie und Physiologie der Netzhaut. Monatsber. d. Berliner Acad. 12. Nov. 1876.

durch Einstich theilweise injicirbar sind und ausser Netzen, Hohlräume um die Ganglienzellen der vorderen Schichten bilden.

Aus den rein anatomischen Verhältnissen der Gefässarmuth des Netzhautgewebes auf geringen Stoffverkehr ihrer Elemente mit der den übrigen Organismus versorgenden Speise bewegter Säfte und weiter auf einen entsprechend schwachen Stoffwandel oder auf besonders untergeordnete chemische Processe in der lebenden und sehenden Retina zu schliessen, würde eben so unberechtigt sein, wie wenn man die viel massigeren Läppchen einer Drüse, die im besten Falle nur äusserlich von Gefässen eng umsponnen werden, für chemisch träge Organe halten wollte. Eine mehr physiologische Betrachtung lehrt, dass die Netzhaut besonders mit dem ihr eigenthümlichen specifischen Sinnesepithel in ganz ungewöhnlicher Weise dem Blute zugänglich ist und von dem reichsten und engmaschigsten Capillarnetze versorgt wird, das wir überhaupt kennen. Gehört auch die Chorioidea dem Sinnesepithel weder anatomisch noch genetisch an, so kann der übermächtige Blutgehalt dieser Aderhaut doch kaum andern Sinn haben, als den die davor liegende Retina mit reichlichem Materiale zu versehen. Die Sclera und das Chorioidealgewebe bedürfen einer so ausserordentlichen Ernährung nicht und dass das erstaunlich entwickelte Gefässnetz überall im Augengrunde als transsudirende Einrichtung zur Erhaltung des intraocularen Druckes nöthig sei, ist kaum anzunehmen, wo die Vascularisation des Ciliarkörpers dazu genügt. Man kommt daher zu dem Schlusse, dass das Sehepithel vor jedem andern Epithelium und vor sämmtlichen Sinnesepithelien bevorzugt sei durch ein ihm äusserlich angelegtes, feinstes bluterfülltes Röhrenwerk, das fast eine continuirliche Schicht flach ausgebreiteten und bewegten Blutes darstellt. Von dieser muss transsudirendes Material in reichlichem Flusse zum Epithel der Netzhaut und zur Stäbchen-Zapfenschicht nach vorn dringen, während es dort an Wegen zur Abgabe des im Leben und beim Sehen Verbrauchten gewiss nicht gebricht.

Chemische Vorgänge in der Netzhaut von höchster Wichtigkeit, als wesentlich zum Sehen, ja als den Anfang des Sehactes anzunehmen, gab es seit langer Zeit zahlreiche Gründe. Die immer mehr sich befestigende Lehre von den specifischen Sinnesenergien schliesst jede Annahme einer der Bewegung des Lichtäthers auch nur entfernt entsprechenden Schwingungsweise in der davon erregten Retina oder in den zum Hirn leitenden Opticusfasern aus. Nirgends kann weniger als beim Auge an einen dem sog. adäquaten Reize ähnlichen Vor-

gang in der Sinnessubstanz gedacht werden, da es schlechthin unmöglich ist, dass der nervöse Apparat mit so vielen oder ähnlichen eigenen Schwingungen reagire, als ihm mit den nach Billionen in der Secunde zählenden Schwingungen des Lichtes zugehen. Die Aetherbewegung muss in der Netzhaut umgewandelt werden, entweder in moleculare Bewegung, indem die Sehzellen erwärmt werden, oder zu chemischen Processen[1], deren die verschiedensten denkbar sind, verbraucht werden, in beiden Fällen unter Absorption von Licht. Ohne Zweifel ist die Mehrzahl der Physiologen seit langer Zeit der letzteren Ansicht besonders zugethan und zwar deshalb, weil dieselbe die durch Ausschluss allein übrig bleibende Hypothese ist, nachdem eine thermische Hypothese schon im Keime an der Erfahrung erstickte, dass die thermisch wirksamsten Strahlen grösster Wellenlänge, trotzdem sie den Augengrund genügend erreichen, die Netzhaut gar nicht afficiren. Ausserdem sind es die bekannten ungemein langen Nachwirkungen des Lichtes im Auge, welche der chemischen Auffassung von jeher besondere Gunst erworben haben.

Auffallender Weise ist die photochemische Hypothese des Sehens[2] bis vor wenigen Jahren in der physiologischen Literatur kaum anders, als beiläufig geäussert worden; es würde daher in keiner Hinsicht förderlich sein, die darauf bezüglichen sehr zerstreuten Aeusserungen vollständig zusammen zu tragen. Zum Beweise, wie vollkommen und einstimmig die Zeitgenossen von der Berechtigung der photochemischen Hypothese überzeugt sind, genügt es der sehr eingehend begründeten, viel umstrittenen Theorie des Sehens[3] von E. Hering zu erwähnen, nach welcher das Licht im Sehorgane eine Reihe abwech-

1 Die Entdeckung der chemischen Wirkung des Lichtes selbst veranlasste Moser, wenige Jahre, nachdem Niépce und Daguerre die Fixirung photochemisch entstandener Bilder erfunden hatten (1839), die Reaction der Retina für übereinstimmend mit den eigenthümlichen Veränderungen an der Oberfläche zahlreicher nicht organisirter Stoffe durch das Licht zu erklären. Freilich hielt Moser diese Vorgänge nicht für chemische (womit er nur bezüglich eines Theiles derselben im Rechte war), es gebührt ihm aber das Verdienst so zahlreiche und rapide Effecte jeder Art sichtbaren Lichtes erkannt und damit die Vergleichung mit solchen auf der Retina eröffnet zu haben, dass der erste Schritt auf dem Wege von Joh. Müller's damals schon mächtiger Lehre der specifischen Sinnesenergieen bis zur jetzigen Vorstellung über den Sehact geschehen konnte. Moser war es auch, der den zeitlichen Verlauf der Netzhauterregung und besonders die lange Nachwirkung zuerst im Sinne materieller Veränderungen des Endorganes am Sehnerven verwerthete. Vgl. L. Moser, Ueber den Process des Sehens und die Wirkung des Lichtes auf alle Körper. Ann. d. Physik CVI. S. 177. 1842.

2 Am präcisesten spricht sich J. Bernstein (Unters. über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsystem S. 133 f. Heidelberg 1871) sowohl über die Hypothese selbst, wie über die aus den angegebenen Gründen folgende Nothwendigkeit derselben aus.

3 E. Hering, Zur Lehre vom Lichtsinne. 6 Abhandl. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1872 u. 1873. 2. Aufl. Wien 1878.

selnder und gegensätzlicher Processe auslöst, wobei die chemische Angriffsweise des Lichtes in der Netzhaut vorausgesetzt wurde, ohne jemals auf Widerspruch zu stossen.

ERSTES CAPITEL.

Chemie der Netzhaut.

1. Allgemeines chemisches Verhalten.

Die winzige Masse der Netzhaut verweist chemische Untersuchungen ihrer Gewebe auf das mikrochemische Gebiet und auf dessen im Entstehen begriffene Methoden der Gewebsanalyse, welchen die Verwerthung gröberer Befunde an Organen gemischten Baues erst zufällt. Da die Netzhaut aus Sinnesepithel und grauer Nervenmasse besteht, muss ihre chemische Zusammensetzung eine sehr verwickelte sein, deren Verständniss nicht zu hoffen ist, ohne sorgfältige Scheidung des anatomischen Substrates. Alles, was im Hirn vorkommt, ist in der Retina zu erwarten, während darin ausserdem specifische Bestandtheile des Sehepithels zu berücksichtigen sein werden. Die Histochemie hat im gröberen und im feineren Sinne unter den Geweben zu unterscheiden, welchein den Bau der Netzhaut eingehen; in der grauen Substanz: Fasern, Zellen und Verwandtes (Körner), sowie Bindegewebe und Stützapparate; im Epithelium: das eigentliche Epithel und die Sehzellen (Stäbchen und Zapfen).

Die Netzbaut als Ganzes ist zuerst von C. Schmidt[1] untersucht. Er erhielt daraus neben Albumin eine weder mit dem Glutin noch mit Mucin oder sog. Chondrin übereinstimmende Materie, aus dem Alkoholextrakte einen mit Platinchlorid krystallisirenden, stark nach Trimethylamin riechenden Körper; letzteres ist ein jetzt verständlicher Befund, da alles nervöse Gewebe Lecithin enthält, aus welchem durch Zersetzung Cholin entsteht, das bei der Zersetzung durch Fäulniss und andere Einflüsse Trimethylamin liefert.

Auf Rollett's Veranlassung untersuchte Chodin[2] die Reaction der Netzhaut und des N. opticus. Er fand den frischen Opticusquer-

---

1 C. Schmidt, mitgetheilt bei R. Blessig, De retinae textur. disquis. microsc. Dissert. inaug. Dorpat 1855.

2 A. Chodin, Ueber die chemische Reaction der Netzhaut und des Sehnerven. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1877. 19. Juli.

schnitt von Fröschen und Kaninchen deutlich sauer, nach mindestens 24—48 stündigem Dunkelaufenthalte der Thiere neutral oder alkalisch. Ebenfalls saure Reaction auf Lackmustäfelchen, die hier allen andern Reagentien vorzuziehen sind, erhielt CHODIN in der Regel von frischen Netzhäuten, um so deutlicher, je vollkommner der Glaskörper mit Fliesspapier abgesogen oder mit Salzwasser abgespült worden, oder nachdem die anfänglich alkalisch reagirende Membran zerquetscht worden, besonders wenn zugleich Licht darauf wirkte. Die Netzhaut lange im Dunkeln gehaltener Thiere schien schwächer sauer zu reagiren oder nach dem Zerquetschen nicht so leicht sauer zu werden. Froschnetzhäute, die ich nach dem Abspülen des Glaskörpers bei Dunkelfröschen immer alkalisch und weder beim Zerquetschen noch nach Belichtung sauer gefunden[1], zeigen nach CHODIN am wenigsten constante Reaction, neigten jedoch nach Einwirkung von Licht oder nach der Zerstörung mehr zu saurer, als alkalischer Beschaffenheit. Da GSCHEIDLEN[2] die graue Substanz des Gehirns und des Rückenmarkes immer sauer reagiren sah und CHODIN das Gleiche an der weissen Substanz beim Hunde, obschon weniger ausgeprägt bemerkte, so liegen hier z. Th. den nervösen Leitapparat und die graue Substanz der Netzhaut betreffende Reactionen vor.

Da sich die Netzhaut im Tode auffallend trübt und das weisslich opake Ansehen sich mit steigender Temperatur schneller entwickelt, beim Frosche plötzlich, wenn die Retina in 45° C. warmes Salzwasser geworfen wird[3], so sind nach Art des Myosins gerinnende Substanzen in ihren Geweben wahrscheinlich enthalten. Die plötzliche Trübung betrifft besonders die vorderen Schichten.

Die Chemie der grauen Retinasubstanz fällt mit der der nervösen Centralorgane zusammen und hat hier kein specielleres Interesse, weil sie für das Sehen nur in soweit Beachtung beanspruchen würde, als dabei überhaupt chemische Vorgänge in dem leitenden Apparate in Frage kommen, wie in jedem andern Sinnesorgane oder in nervösen Einrichtungen, welche ausser Nervenfasern auch ganglöse Elemente enthalten. Nur wegen der Verbindung und wegen des genetischen Zusammenhanges des Sehepithels mit jenen Geweben ist hier des geformten und chemisch definirten N e u r o k e r a t i n s zu gedenken, welches im gesammten grauen und weissen Nervensysteme der Wirbelthiere unter der verschiedensten Gestalt vorkommt. Dasselbe bildet im Opticus Scheiden und Netze, welche

---

1 W. KÜHNE, Ueber den Sehpurpur. Unters. a. d. physiol. Inst. d. Univers. Heidelberg. I. S. 22.

2 R. GSCHEIDLEN, Ueber die Reaction der nervösen Centralorgane. Arch. f. d. ges. Physiol. VIII. S. 171.

3 A. EWALD und W. KÜHNE, Untersuchungen über den Sehpurpur. Unters. a. d. physiol. Inst. z. Heidelberg I. S. 44.

sich in die Retina mit Umgehung der blassen Nervenfasern fortsetzen und in Gestalt des von Max Schultze beschriebenen Stützapparates alle Schichten bis zur M. limitans ext. durchziehen.[1] Die Radialfasern bestehen nach Kuhnt's Beobachtungen[2] nicht aus jenem allen Lösungs- und Verdauungsmitteln, mit Ausnahme heisser Kalilauge und Schwefelsäure, widerstehenden Keratin. Dass gefässhaltige Netzhäute auch Bindegewebe, folglich Collagen, Elastin und Mucinogen enthalten, bedarf der Erwähnung kaum. Die M. limitans hyaloidea s. ant. scheint zu den verdaulichen Glashäuten zu gehören.

Die graue Substanz der Netzhaut zeigt im übervioletten Lichte schwache weissbläuliche Fluorescenz[3], die an der vorderen natürlichen, wie an der hinteren, des Epithels und der Stäbchenschicht beraubten Oberfläche mit gleicher Deutlichkeit zu sehen und wenig veränderlich ist.

II. Chemie des phototropen Epithels.

Das Retinaepithel, die Stäbchen und die Zapfen sind die dem Sehorgane eigenthümlichen nach Bau und Mischung nirgends in andern Körpertheilen ihres Gleichen findenden Elementarorganismen. Wir bezeichnen dieses gesammte Sinnesepithel des Auges als das phototrope, als das eigentliche periphere Sehorgan. Die mikroskopische Anatomie lehrt den Zusammenhang der Sinnesepithelien mit dem nervösen Leitapparate und es dürfte die Grenze, wo das Sinnesepithel in die Nervenfaser übergeht, für die Stäbchen an dem Punkte zu suchen sein, wo vor dem Kerne die varicöse Faser beginnt, für die Zapfen an der Stelle, wo aus ihrem breiten, nach vorn gerichteten Fusse einzelne Fäserchen entspringen. Verbindungen des äussersten Retinaepithels mit dem Leitapparate sind nicht bekannt. In dem Folgenden werden die Stäbchen und Zapfen als Sehepithel und Sehzellen, das äusserste Epithel wie gewöhnlich als Retinaepithel bezeichnet werden.

1. Chemie des Retinaepithels.

Bis an diese äusserste Schicht der Netzhaut reicht das für nervöse, wie für epitheliale, aus dem Hornblatte entwickelte Bildungen charakteristische Neurokeratin. Bei aller Zartheit sind die Zellen des

1 A. Ewald und W. Kühne, Ueber einen neuen Bestandtheil des Nervensystems. Verh. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg. N. F. I. S. 457. 1876.

2 H. Kuhnt, Zur Architektonik der Retina. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde XV. Beilage. S. 72.

3 A. Ewald und W. Kühne, Unters. a. d. physiol. Inst. z. Heidelberg I. S. 171.

retinalen Epithels von einem Hute jenes resistenten Stoffes überzogen, den sie zwar oft verlieren und im Augengrunde zurücklassen, nachdem sie daraus abgestreift worden. Nach Kuhnt's Beobachtungen[1] überzieht der unverdauliche Hut die nicht gebräunte Kuppe des Zellenleibes etwa bis an die Zone, wo das schwarzbraune Pigment und die Basis der Zelle beginnt. Hier verschmilzt er nach Angelucci[2], dessen spätere Ausführungen sich bezüglich des Hutes mit denen Kuhnt's vollkommen decken, am Rande mit den Hüten der Nachbarzellen, so dass sämmtliche Zellen in dieser Zone mittelst einer continuirlichen Neurokeratinschicht zusammenhängen. Die Ränder der Hüte sind mit den früher namentlich von Schwalbe[3] beschriebenen festen Kittleisten zwischen den Zellen identisch und die Ursache einer lange bekannten scharfen Linie, welche man über die betreffende Gegend der Epithelzellen an Durchschnitten der gesammten Retina verlaufen sieht.

An den einzelnen Epithelzellen werden unterschieden: die ungebräunte Kuppe, die Basis und die Fortsätze. Der Kern liegt immer an der Grenze von Kuppe und Basis. Die Basis ist keine compakte Masse, sondern eine von so vielen weiten, cylindrischen Canälen durchsetzte Scheibe, als Stäbchen an ihren äussersten Enden von der Zelle umgriffen werden. Von der Basis entspringen die nach Gestalt und Pigmentfüllung wechselnden Fortsätze, welche weit nach vorn in die Zwischenräume der Stäbchen, bis zu den Zapfen und bis an die M. limitans ext. reichen können.

A) Die Kuppe der Epithelzellen.

Die Kuppe enthält glänzendes, farbloses, zuweilen etwas streifiges Protoplasma, nach vorn mit einem, seltener mit zwei durchsichtigen, ellipsoïden Kernen versehen, deren lange Axe senkrecht zur Längsaxe der Zelle steht. Der Kerninhalt ist klar, mit 1 bis 2 Kernkörperchen versehen. Die Kerne schrumpfen in Säuren, sind in NaCl von 10 pCt. unlöslich, in Alkalien sehr quellbar und widerstehen neutraler Trypsinverdauung; sie dürften daher hauptsächlich aus Nucleïnen bestehen. Das sehr weiche Protoplasma der Kuppe ist, wie das der Basis und der Fortsätze in verdünnten Säuren etwas quellbar, zergeht allmählich etwas in NaCl von 10 pCt. und löst sich mit grösster Leichtigkeit unter Hinterlassung des Kerns und des braunen Pigmentes, das nach allen Richtungen auseinander stiebt, in Galle

---

1 Kuhnt a. a. O. S. 79.
2 Angelucci, Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1878. S. 353.
3 G. Schwalbe, Handb. d. Augenheilk. v. Graefe u. Saemisch I. S. 424.

von 1—5 pCt. Das Pigment ragt in die Kuppe der Zellen nur am Rande etwas empor, immer, so lange die Zellen frisch sind, in genügender Menge um beim Anblicke von hinten die Rahmen, durch welche die Epithelzellen zusammenhängen, zu verwischen oder ganz zu verdecken. Einige Zeit nach dem Tode zieht es sich vom Rande gegen die Axe der Zelle zurück, so dass die Zellgrenzen jetzt breiter erscheinen, als sie wirklich sind. Das vorn an die Kuppe grenzende und das sich darin im Umfange erhebende Pigment besteht vorzugsweise aus Kügelchen und Körnchen, nicht aus Nadeln oder anderen länglichen Formen.

Ausschliesslich in der Kuppe treten als Einlagerungen des Protoplasmas mehr oder minder gefärbtes Fett und Myeloïdkörner auf.

Das Epithelfett. Das Retinalepithel mancher Thiere enthält auffallende Mengen Fett. Beim Frosche, bei einzelnen Vögeln und bei Kaninchen, besonders bei albinotischen, kommt es constant vor, während es beim Menschen, dem Rinde und Schweine bisher vermisst wurde. Meist tritt es in Gestalt je eines grossen, den Umfang des Kernes erreichenden, zuweilen übertreffenden Tropfens auf, von starkem Fettglanze und geringer Consistenz. Sind mehrere Tropfen vorhanden, so sind es in der Regel kleinere von allen Durchmessern um einen grösseren gruppirt, an welchem in einzelnen Fällen Abschnürungs- oder Theilungsformen, selbst Schichtung an der Oberfläche zu erkennen ist. Gewöhnlich ist dieses sichtbare Fett in der vorderen Zone der Kuppe neben dem Kerne, der Basis genähert abgelagert. Beim Frosche ist es tief goldgelb bis blass citronfarben, besonders hell, wo Zertheilung eingetreten, nicht wegen der dünneren Ausbreitung scheinbar, sondern wirklich farbstoffärmer, da es auch in dichten Haufen der kleinen Kugeln und an den restirenden grösseren die blasse Nuance zeigt. Unter den Vögeln sind bis jetzt nur bei einzelnen Eulen Fetttropfen des Retinaepithels beobachtet, bei einigen farblos, bei anderen Arten von gelber bis oranger Färbung. Je tiefer hier die Farbe ist, um so kleinkörniger und eckiger sind die Ablagerungen, welche dann vorwiegend aus ausgeschiedenem Farbstoffe, dem nur wenig Fett mehr beigemischt ist, bestehen. Die grossen Fetttropfen der Kaninchennetzhaut sind kaum als gefärbt zu bezeichnen. Alles Epithelfett der Retina bleibt bei niederen Temperaturen weich und dürfte daher wesentlich Oleïn enthalten. Aus den Zellen ist es sehr leicht mit Alkoholäther, mit Benzol oder Schwefelkohlenstoff zu extrahiren; Alkalien und Galle greifen es nicht an; Osmiumsäure färbt die Kugeln mit grosser Geschwindigkeit tiefbraun.

Das Lipochrin.[1] Zur Untersuchung des Farbstoffes der Fettkugeln fand sich bis jetzt nur im Froschauge Material. Man säubert die Bulbi von allem anhängenden Fette und Muskelfleische, halbirt sie, nimmt die Netzhaut epithellos heraus und wirft die mit der Uvea und dem Epithel versehenen hinteren Skleralabschnitte sogleich in absoluten Alkohol. Einige Tausend so gesammelter Augen färben den Alkohol nur schwach, doch wird derselbe, um auch die kleinste Menge Farbstoff nicht zu verlieren, verdunstet und der Rückstand mit wenig Aether aufgenommen, welchen man dem viel tiefer gefärbten Aetherextrakte der aus dem Alkohol genommenen Augen hinzufügt. Beim Verdunsten des Aethers bleibt ein stark gelb gefärbtes, schmieriges Fett zurück, während die mit Aether erschöpften Augen an Chloroform, Benzol, Petroläther, Schwefelkohlenstoff und Terpenthinöl, auch an heisses Parafin nichts Färbendes mehr abgeben.

Die Farbe des retinalen Fettes ist von der des bekannten Froschfettes in den Fettlappen der Bauchhöhle nicht zu unterscheiden. Beide geben in Aether gelöst das Absorptionsspectrum Fig. 1 *A*, in

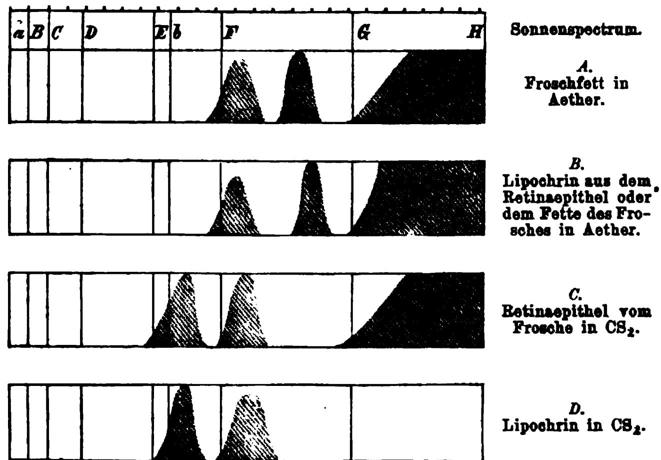


Fig. 1.

Schwefelkohlenstoff gelöst das von Fig. 1 *C*. In heisser alkoholischer Lösung mit Aetznatron versetzt liefern sie eine gelbe Seife, aus welcher Aether den Farbstoff fettfrei, nur mit Spuren nicht entfernbarer Seife verunreinigt aufnimmt und als stets amorphen schön-

1 W. Kühne und W. C. Ayres, Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut. a. a. O. S. 341.

gelben Rückstand hinterlässt. Mit der Lösung des gereinigten Lipochrins erhält man das Spectrum Fig. 1 *B*, aus der tief orangefarbenen in Schwefelkohlenstoff das von Fig. 1 *D*. Der Verdunstungsrückstand der Schwefelkohlenstofflösung löst sich in Aether wieder mit gelber Farbe, welche die gleiche Absorption zeigt, wie vor der Einwirkung des Schwefelkohlenstoffs: letzterer ändert also die Substanz, trotz der starken Verwandlung, welche die Farbe darin erleidet, nicht.

Das Lipochrin wird von Jod-Jodkaliumlösung, der etwas Alkohol zugesetzt worden, grünlich bis bläulich grün, von Salpetersäure, die wenig salpetrige Säure enthält, vorübergehend grünblau, von concentrirter Schwefelsäure dunkelviolett bis blau gefärbt. In Alkohol oder in Aether, auch in Fetten gelöst, in Papier imbibirt oder durch farblose Galle in wässerige Lösung gebracht bleicht es am intensivsten Sonnenlichte in 2—3 Stunden aus, wenn die Lösungsschichten dünn genug sind. Die so erhaltene farblose Substanz wird im Dunkeln nicht wieder gelblich. Durch Ozon wird das Lipochrin im Dunkeln entfärbt.

Schon Thudichum[1] machte auf einen besondern gelben Farbstoff mancher thierischen Fette aufmerksam und hielt denselben für identisch mit dem von Lieben und Piccolo[2] aus dem Corpus luteum der Kuh dargestellten, krystallinischen, später Luteïn genannten Pigmente, das ehedem von Städeler und Holm[3] fälschlich für Bilirubin gehalten worden. Von demselben Körper sollte nach Thudichum auch die Farbe der Hühnereidotter herrühren. Ohne Zweifel sind alle diese Farbstoffe mit einander und mit noch einigen andern in den Zapfen vieler Vögel und Reptilien vorkommenden verwandt, mit denen sie auch die mässige Lichtempfindlichkeit, welche Hoppe-Seyler[4] zuerst vom Luteïn erwähnte, und die von Schwalbe[5] an den Zapfenkugeln gefundene Blaufärbung durch Jod theilen. Diese Pigmente nehmen sämmtlich mit Salpetersäure die blaugrüne, mit Schwefelsäure die dunkelblauviolette, schon von Städeler und Holm am Luteïn beobachtete Färbung an. Capranica[6] der diese Reactionen an den Oelkugeln des retinalen Epithels vom Frosch mit Erfolg anstellte, bemerkte auch an den Luteïnkrystallen Blaufärbung durch Jod. Trotz der Uebereinstimmung in den genannten Reactionen sind die Pigmente unter einander so verschieden, wie vom Bilirubin, mit welchem das Luteïn so lange verwechselt worden, da sie sowohl im Grade der Zersetzlichkeit durch Licht, wie durch die dem Auge direkt erkennbaren Farbenunterschiede von einander abweichen und keiner ausser dem Luteïn

1 Thudichum, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1861. Nr. 1.
2 Piccolo und Lieben, Giorn. d. scz. nat. II. Palermo 1866.
3 Staedeler und Holm, Journ. f. pract. Chemie CIV. S. 257. 1868.
4 Hoppe-Seyler, Handb. d. physiol. u. path.-chem. Analyse 1870. S. 186.
5 G. Schwalbe a. a. O. S. 414.
6 St. Capranica, Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1877. S. 285.

krystallinisch erhalten werden konnte. Entscheidend für die Verschiedenheit ist das spectroscopische Verhalten, welches grosse Differenzen der Lichtabsorption, kenntlich an den sehr verschieden gebänderten Spectren des Lipochrins, der Pigmente des Epithels und des Luteïns aufdeckt.[1] Beachtung verdient es, dass das Epithelfett der Retina beim Kaninchen, dessen Fettgewebe so gut wie farblos ist, ebensowenig gefärbt ist. Aus der Haut des Frosches nimmt Aether, besonders nach vorgängiger Verdauung, ziemlich viel gelbes Pigment von dem angegebenen Verhalten des Lipochrins auf, welchem zuweilen ein grünlich aussehender, vielleicht blauer, am besten in Chloroform löslicher Farbstoff beigemengt zu sein scheint.

Die Myeloïdkörner. Das Protoplasma der Epithelkuppen ist häufig der Sitz eigenthümlicher farbloser Ablagerungen, von wachsartigem Glanze und kugliger, abgestumpft eckiger, halbmondförmiger, walzen- und wurstartiger Gestalt. Früher vielleicht schon gesehen aber irrthümlich für farbloses Fett gehalten[2], wurden sie von EWALD und mir[3] vom Fette unterschieden, beim Frosche oft in erstaunlicher Menge gefunden und zuerst als „farblose Klümpchen“ bezeichnet. Dieselben nehmen zunächst immer den äussersten Raum der Zellkuppe hinter dem Kerne ein, treten aber zuweilen in solcher Menge auf, dass sie die Kuppe fast ganz erfüllen und zwischen die Fetttropfen, selbst in die Basis der Zellen gedrängt werden. Die Myeloidkörner geben an Alkohol, Aether, Chloroform, Benzol u. s. w. unzweifelhaft etwas ab, sind darin aber weder löslich noch quellbar. Mit Osmiumsäure färben sie sich viel langsamer, als die nebenliegenden Fetttropfen, indem sie nach und nach schmutzig braungrün werden. In Alkalien sogleich colossal quellend und darin allmählich zergehend, unterscheiden sie sich vom Fett auf das schärfste. Charakteristisch ist ferner die ungemein leichte Löslichkeit der Körner in Galle von 1—5 pCt. Bei der Chemie der Retinastäbchen wird diese, nach den angeführten Reactionen dem sog. Myelin des Nervenmarkes am meisten verwandte und deshalb passend als Myeloïd zu bezeichnende Substanz genauer erörtert werden. Sie wurde von uns bisher nur im Retinaepithel des Frosches, einiger Eulen und des Bussards gefunden. Beim Frosche kommen die Myeloïdkörner nicht ganz constant vor, doch dürften wenigstens einige Epithelzellen der Netzhaut sie immer enthalten. Alle Grade der Anfüllung mit Myeloïdkörnern werden sowohl bei dunkel, wie bei hell gehaltenen und bei abwechselnd belichteten Fröschen im Epithel gefunden.

1 Vgl. KÜHNE und AYRES a. a. O. Taf. III, IV, V.
2 FR. BOLL, Zur Anat. u. Physiol. d. Retina. Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1877. S. 1.
3 a. a. O. S. 287.

B) Basis und Fortsätze der Epithelzellen.

Das Epithelpigment erfüllt die Zellen in sehr verschiedener Weise und fehlt manchen bekanntlich ganz. Ohne Ausnahme pigmentlos sind die Epithelien der Albinos (Kaninchen, Ratten, Tauben), mehr oder minder pigmentarm die vor dem, bei Thieren so häufigen, glänzenden Tapetum gelegenen. Bei den Raubthieren unter den Säugern und bei vielen Fischen enthalten die tapetalen Epithelien der Retina an Stelle des Pigmentes eine in grösseren Mengen gelblich aussehende Einlagerung stark irisirender Krystalle, beim Hunde und der Katze von äusserster Feinheit und Biegsamkeit eine Art Filz bildend, bei den Fischen mehr vereinzelt liegend und von ziemlicher Grösse, so dass Messungen daran ausführbar sind.

Das Fuscin. Das braune Pigment wird zweckmässig als Fuscin benannt, weil der Name seine Farbe besser ausdrückt, als das dafür bisweilen gebrauchte Wort Melanin und weil es bedenklich wäre, das epitheliale Augenpigment mit der vorzugsweise als Melanin benannten, braunen, bis schwarzen Materie vieler anderer Fundorte durch die Benennung zu identificiren. Alles retinale Fuscin der Wirbelthiere ist im durchfallenden Lichte noch bei erheblicher Schichtendicke braun, nicht schwarz, verdünnt niemals so neutral grau, wie bei vielen Wirbellosen. Der Nuance nach stimmt es bemerkenswerth mit dem jedesmaligen Aussehen der Chorioïdea überein, beim Menschen und den Vögeln, wo es sich von neutralen Tinten am meisten entfernt, am auffallendsten, so dass die mit dem Epithel hervorgezogene Netzhaut mit dem entleerten Grunde identisch hell zimmtfarben, nuss- oder chocoladebraun bis schwarzbraun erscheint.

Während das Pigment der Chorioïdea nur kugelige und kurz gedrungene, wenig kantige Formen zeigt, tritt das Fuscin in den retinalen Epithelzellen vieler Thiere nur zum kleinsten Theile so amorph, grösstentheils mit länglich spindelförmigen oder in so gekanteten Gestalten auf, dass es für krystallinisch zu halten ist. Am meisten nadelförmig ist es bei den Vögeln, am körnigsten, so dass die krystallinische Structur zuweilen zweifelhaft wird, bei vielen Säugern, besonders beim Menschen. Oft sind einzelne Theilchen auffallend hell, fast gelb und kaum braun, ohne darum dünner oder kleiner zu sein, so dass man entweder verschiedene Pigmente, odes ein farbloses von Fuscin nur tingirtes Substrat vermuthen möchte.

Das Fuscin reicht zwar von den Wänden der Epithelkuppen etwas nach hinten, steigt aber unter keinen Umständen soweit in die Kuppe empor, dass nicht ein beträchtlicher, von diesem Pig-

mente freier Raum übrig bliebe. Die eigentliche Stätte des Fuscins ist die Zellenbasis mit ihren Fortsätzen, gewöhnlich erst von einer Ebene an, welche die Stäbchenkuppen noch schneidet, so dass es also nirgends in der Zelle in Gestalt einer zusammenhängenden Platte, sondern nur zu Kränzen oder kurzen Cylindermänteln angeordnet auftreten kann. Bis soweit liegen seine länglichen Theilchen in allen Richtungen durcheinander, während es in den Fortsätzen, wo es die Stäbchen nicht mehr am ganzen Umfange überzieht, reihenweis angeordnet ist und die Nadeln vorwiegend mit der Längsaxe parallel zu der der Stäbchen liegen.

Den ersten Versuch das Fuscin vom Gewebe zu trennen machte Rosow.[1] Er suchte es durch Waschen der aus den Augengründen gepflückten Epithelschichten zu isoliren, indem er das mitgeführte Gewebe durch Fäulniss erweicht oder gelöst entfernte, ein Verfahren, das kein sauberes Präparat liefert, weil Bacterienleiber in grosser Menge an den Fuscintheilchen haften und durch Schlemmen, Decantiren oder Filtriren nicht zu entfernen sind. So weit es denkbar ist eine Substanz, ohne sie einmal in Lösung übergeführt zu haben, als Rückstand zu isoliren, ist dies mit dem Fuscin zu erreichen, freilich nur für kleine Mengen. Man behandelt dazu epithelführende, von der Chorioïdea getrennte Netzhäute mit Galle, die daraus alsbald eine dunkle, ohne Aenderung der Farbe durch Papier filtrirende Tinte bildet. Die durch das Filter gegangenen Fuscintheilchen setzen sich in flachen Uhrgläsern nach einiger Zeit so vollkommen ab, dass die Flüssigkeit mit feinen Pipetten abgesogen werden kann, ein Mittel, das weiterhin allein benutzt wird, weil das Pigment, auch wenn es sich noch zusammenballt, durch Filter theils verloren geht, theils wegen des Eindringens in die Poren mit Cellulose verunreinigt wird, wenn man es abzunehmen versucht. Der Bodensatz wird mit Wasser zur Entfernung der Galle gewaschen, darauf einer 24stündigen alkalischen Trypsinverdauung, zur Verhütung der Bacterienbildung unter Zusatz von Thymol, unterworfen, um allenfalls mit dem Fuscin durch das Filter geschlüpfte, eiweisshaltige Massen (von denen mikroskopisch allerdings nie etwas zu entdecken ist) zu entfernen, weiter wiederholt mit Wasser, endlich mit Alkohol und Aether extrahirt. Man gewinnt so einen beim Verdunsten der letzten Aethertropfen am Uhrglase haftenden, im durchfallenden Lichte schwarzbraunen, im auffallenden bläulich schwarzen Anflug, der nur aus Fuscin besteht.

In ähnlicher Weise wird aus der Chorioïdea des Frosches ein,

1 Rosow, Arch. f. Ophthalmologie IX. Abth. 3. S. 65.

abgesehen von der theilweise krystallinischen Beschaffenheit, von dem epithelialen in keinem Punkte abweichendes Fuscin erhalten, dessen hier gedacht wird, weil es bis heute nur möglich ist das Epithelfuscin in grösseren Mengen zu erhalten, wenn auf die Scheidung von jenem verzichtet wird. In kleinen, zur Controle genügenden Antheilen wird das chorioïdale Fuscin rein gewonnen, indem man aus den vom Epithel zugleich mit der ganzen Retina entleerten Augengründen die Uvea herauspflückt, mit Galle schüttelt und mit Wasser wäscht, um jede Spur etwa zurückgebliebenen Epithels, sammt dessen Pigment fortzuspülen, die übrig bleibenden schwarzen Flocken in Wasser aufkocht und mit Trypsin, welches nach diesen Vorbereitungen das Gewebe mit Einschluss des Collagens auflöst, verdaut. Um aus dem Rückstande die Nucleïne zu entfernen, ist derselbe mit sehr verdünntem Alkali zu extrahiren. Das unveränderte Pigment bildet dann einen schwarzen Bodensatz, der weiter durch Schlemmen, wie es beim Fuscin angegeben, zu reinigen ist.

Die vereinigten Pigmente des Augengrundes sind von K. Mays[1] aus Frosch- und Säugeraugen und besonders aus denen von Hühnern nach folgender Methode dargestellt. Mehr als 500 hintere Augenhälften wurden frisch in Alkohol geworfen, mit kochendem Alkohol, darauf mit Aether, zuletzt durch Kochen mit Wasser extrahirt. Nach 24stündiger energischer Trypsinverdauung blieb das Pigment mit einigen Stückchen verknöcherter Sklera, welche leicht beim Durchgiessen durch Gaze abzufangen waren, zurück. In dem nach einer letzten Reinigung mit Alkali von Nucleïnen befreiten Fuscin noch zu vermuthendes Neurokeratin, das aus den Netzhäuten ebenfalls ungelöst hätte zurückbleiben müssen, fand sich mikroskopisch nicht angedeutet. Das Neurokeratin scheint demnach durch Schlemmen vom Fuscin trennbar zu sein, wenn es nicht bei dem öfter befolgten Filtriren durch Gaze, an der es sehr haftet, unbeabsichtigt verloren gegangen war.

Kein chemisches Reagens löst oder zersetzt das Fuscin sofort; concentrirte Säuren und Alkalien bedürfen dazu längerer Zeit oder des Erhitzens. Bei längerem Kochen färbt das Fuscin concentrirte Schwefelsäure schwarzbraun, Natronlauge und Salpetersäure gelb, ohne mehr als Spuren zu verlieren. Wie Rosow fand und Mays bestätigte, wird das Fuscin nach längerer Behandlung mit verdünnter Salpetersäure in ätzendem und kohlensaurem Alkali, sowie in Ammoniak leicht löslich. Diese Lösungen sind Rosow's Angaben entgegen, nach welchen sie

1 K. Mays, Unters. a. d. physiol. Inst. z. Heidelberg II. S. 324.

schön violetroth sein sollen, gelb, auch wenn sie aus ganz reinem Epithelfuscin gewonnen werden. Aus diesen alkalischen Lösungen gefärbte Niederschläge durch Neutralisiren zu erhalten, gelang MAYS nicht.

Bei der grossen Resistenz des Fuscins gegen chemische Eingriffe ist seine Empfindlichkeit gegen Licht um so überraschender. Dieselbe ist zwar nicht bedeutend, aber doch im intensivsten Sonnenlichte im Laufe einiger Stunden zu bemerken, wenn man es recht blass auf weissem Porzellan ausmalt und eine scharf begrenzte Vergleichsstelle vor Licht schützt. Mit Luft eingeschlossene mikroskopische Präparate des retinalen Epithels, hinreichend belichtet, zeigen den Gang der Veränderung ebenfalls; besonders die in den Fortsätzen der Zellen einzeln liegenden Nadeln werden nach und nach heller, dann blassgelb, endlich farblos, ohne sich in den Zusatzflüssigkeiten, die am besten aus 0,5 pCt. NaCl-Lösung oder äusserst verdünnter Soda bestehen, nachweisbar zu lösen. Damit solche Präparate nicht durch Fäulniss zerfallen ist es nöthig sie mit Spuren von Thymol zu versetzen, nicht mit Salicylsäure, weil Säuren die Lichtempfindlichkeit ausserordentlich schwächen.

Das Gelbwerden und die Entfärbung des Fuscins am Lichte ist nicht von Erwärmung bedingt: es tritt bei dauernd kalt gehaltenen Präparaten ein, während es unter berussten von der Sonne beschienenen Gläsern, welche die thermisch wirksamsten Strahlen durchlassen, an trockenen Objecten nach Monaten und Jahren nicht erfolgt. Im trockenen Zustande verläuft die photochemische Veränderung etwas langsamer, als in Gegenwart von Wasser, am schnellsten in alkalischen Flüssigkeiten. Sehr dunkel ausgemalte Streifen, über Schwefelsäure an einem sonnigen Platze aufgestellt, werden nach etwa 1—2 Sommermonaten orange bis gelb, nach einem weiteren Monat farblos. Im Laufe eines trüben Winters gab eine mit Fuscin nussbraun bemalte Platte, die mit einem photographischen Negativ bedeckt unter Oberlicht gelegen hatte, ein leidlich detaillirtes Photogramm.

Unter Ausschluss des Sauerstoffs, im luftleeren Raume, oder in Kohlensäure wird das Fuscin durch Licht gar nicht verändert, weder im trocknen, noch im feuchten Zustande, ebenso wenig in Gegenwart von Alkali. Mikroskopische Präparate, an welchen man sich von der Lichtempfindlichkeit überzeugen will, dürfen darum nur in sog. feuchte Kammern, nicht in der gewöhnlichen Weise unter Deckgläsern, mit einem möglichst grossen Luftvolum eingeschlossen werden. MAYS, der diese Beobachtungen bestätigte, fand, dass die Belichtung in Gegenwart von Sauerstoff auch die Löslichkeit des Fuscins beein-

flusst, so dass z. B. Suspensionen des Pigments namentlich in verdünnter Soda bald klare, gelbe Lösungen gaben. Merkwürdiger Weise wurden diese Lösungen durch Licht weniger schnell gebleicht, als das überschüssige, darin wieder zu Boden sinkende Pigment. In geringerem Grade wird das Fuscin bei Einwirkung von Luft und Licht sogar in Wasser und in sauren Flüssigkeiten (Salicylsäure von 0,2 pCt.) löslich. Von Wasser, verdünnter Soda oder ätzendem Alkali wird das Fuscin nach Mays' Beobachtungen unter Abschluss des Sauerstoffs auch durch tagelanges Erhitzen auf 100 °C. weder gelöst noch in der Farbe geändert, während Siedehitze in Gegenwart von Sauerstoff kleine Antheile des so befeuchteten Pigmentes nach 6—8 Stunden löslich macht. Aus der am intensivsten gefärbten alkalischen Lösung ist es darauf durch Ansäuern in Gestalt eines oft erst nach Tagen zu Boden gehenden Niederschlages fällbar, der aus amorphen hellbraunen Flocken besteht.

Ohne Zweifel besteht die mit Bleichung abschliessende Aenderung des Fuscins am Lichte und unter dem Einflusse der Siedehitze in einer Oxydation. Wie Mays fand, wird dieselbe ohne Licht auch durch Ozon nicht erzielt und auffallender Weise im Lichte von Ozon im Vergleiche zum atmosphärischen Sauerstoff nicht beschleunigt. Wenn aber das Fuscin zuvor durch Luft, Licht oder Wärme soweit umgewandelt worden, dass es in Lösung geht, so wird der gelbe gelöste Körper, der als das erste farbige Zersetzungsprodukt des Fuscins aufzufassen ist, von Ozon im Dunkeln sehr langsam, im Lichte ziemlich schnell bis auf ein äusserst blasses Gelb entfärbt. Alkaliche Flüssigkeiten (½ pCt. Pottasche) sind zum Constatiren dieses Verhaltens die geeignetsten.

Nach der Lichtempfindlichkeit zu urtheilen verhalten sich die Fuscine nicht bei allen Thieren gleich; Mays fand das der Eule schneller bleichend, als das des Frosches und des Huhnes, die beiden letzteren aber ziemlich übereinstimmend. Das zimmtfarbene Fuscin eines hochblonden Menschen sah ich bedeutend schneller bleichen, als das des Frosches.

Das von Mays dargestellte Fuscin hinterlässt wenig eisenhaltige Asche und ist ein stickstoffreicher Körper.

2. *Chemie des Sehepithels.*

(Stäbchen und Zapfen.)

Das Sehepithel besteht aus den Sehzellen: aus Stäbchen und Zapfen. Wo beide Formen und viele Stäbchen vorkommen reichen nur die letzteren mit den längeren Aussengliedern in die Basis der

retinalen Epithelzellen hinein, während bei überwiegenden Zapfen auch diese z. Th. bis an die fuscinfreie Kuppe nach hinten durchragen. In der stäbchenfreien Schlangennetzhaut überschreiten alle Zapfenaussenglieder die hintere Fuscinzone; wahrscheinlich ist dieses Verhalten auch für die Zapfen in der Fovea centralis des Menschen und des Affen. Aus Stäbchen und Zapfen gebildetes Sehepithel gleicht einer doppelten Claviatur deren vordere Reihe von den auch mit der Wurzel des Aussengliedes weiter vorgestellten Zapfen besteht.

A) Innenglieder der Sehzellen.

Nur die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen sind in chemischer Beziehung beachtet, obwohl es grosses Interesse hätte das mikrochemische Verhalten des so verschiedenartigen Inhaltes der Innenglieder ebenfalls zu untersuchen. Die letzteren besitzen wie alle zelligen Bestandtheile der Retina ein im Leben ausserordentlich durchsichtiges Protoplasma, worin erst nach dem Tode leichte, körnige Einlagerungen bemerklich werden, ferner Kerne, wie es scheint, vom allgemeinen Verhalten der meisten Zellkerne und bei vielen Thieren noch besondere, ebenfalls nach dem Absterben deutlicher hervortretende Gebilde von sehr auffallender Gestalt und Lichtbrechung, welche letztere grosse Verschiedenheit gegen die chemische Zusammensetzung des Protoplasmas andeutet. Es sind dies die bei niederen Wirbelthieren auch in den Stäbchen, bei den höheren vorwiegend in den Zapfen vorkommenden, kugligen, linsenförmigen und paraboloïden Körper von eigenthümlich starker Lichtbrechung und die von Max Schultze am entwickeltsten in den Zapfen des Menschen, aber auch im äusseren Theile des Innengliedes der Stäbchen gefundenen Faserkörbe. Alle diese Bildungen färben sich mit Osmiumsäure, obschon z. Th. recht schwach, eher und dunkler als das Protoplasma und scheinen theils den Fetten, theils dem sog. Myelin verwandt; bei vielen Reptilien und bei den Vögeln sind es in den Zapfen wahre Fettkugeln, welche überdies vielfach Pigmente enthalten. Endlich zeigen die Zapfeninnenglieder mancher Vögel und Reptilien ihre ganze Masse durchsetzende Einlagerungen eines bis zur feinsten Körnung vertheilten, rosenfarbenen oder gelben Pigments, das vermuthlich auch in dieser Gestalt noch mit Spuren von Fetten vereinigt ist.

B) Aussenglieder der Sehzellen.

(Cylinder und Kegel.)

Nicht allmählich, sondern plötzlich mit scharfer scheibenförmiger Grenze geht das äussere Glied aus dem inneren der Sehzelle, selbst

in dem Falle hervor, wo kein besonderer glänzender Körper die Grenze markirt. Die Aussenglieder der Stäbchen sind Cylinder mit kreisförmigem bis elliptischem Querschnitte und oft canelirter Oberfläche, deren äusseres Ende eine unregelmässige, zuweilen wie benagt aussehende, oder treppenförmige Kuppe besitzt; die der Zapfen sind Kegel mit glatter, leicht abgerundeter Spitze. Letztere sind weicher, biegsamer, vergänglicher, von schwächerer Lichtbrechung und fallen leichter von den Innengliedern ab. Cylinder und Kegel werden nach dem Tode deutlicher quergestreift und blättern im Innern zu Säulen von Plättchen oder Ringen mit unregelmässigem Lumen auf. Die Plättchen der Kegel sind die dickeren. In Osmiumsäure werden die Cylinder bedeutend dunkler, als die Kegel.

Die Aussenglieder aller Sehzellen bestehen aus einer Mantelschicht, Rinde oder Haut und aus dem von Plättchen und Zwischensubstanz gebildeten Inhalte; dies wurde von M. Schultze namentlich bei den Kegeln, wo die Haut auch die Spitze continuirlich überzieht, festgestellt. Auf die chemische Structur konnten bis heute nur die Cylinder untersucht werden..

1) Chemische Structur der Cylinder.

Die Hülle der Stäbchenaussenglieder ist isolirbar und verhält sich wie Neurokeratin.[1] In absoluten Alkohol gelegte, darauf mit Aether, endlich mit kochendem Alkohol extrahirte Froschnetzhäute zeigen die Cylinder in Gestalt sehr reducirter, runzeliger Fortsätze, die sich mikrochemisch wie geronnenes Eiweiss verhalten, kaum quellungsfähig sind und jeder auffälligeren Reaction gegen Osmiumsäure entbehren. Verdauungsversuche daran lehren, dass dieser Rest nach Art der geronnenen Albumine löslich wird, aber nur zum Theil, so dass nach abermaliger starker Volumsabnahme ein schwer zerstörbarer, nur durch ätzende Alkalien und concentrirte Schwefelsäure bei Siedehitze schneller schwindender Antheil übrig bleibt. Auch die wirksamste, lange durchgeführte Verdauung erst mit Pepsin und HCl, dann mit Trypsin, nach einander in salicylsaurer, neutraler und schwach alkalischer Lösung beseitigt dieses Residuum nicht, das auch langer Bacterienfäulniss widersteht. Das Keratin der Cylinder wetteifert an Unlöslichkeit mit dem des Gehirns. Wie Morochowetz[2] fand, ist nicht alles Keratin für wochenlang, namentlich mit Magensaft durchgeführte Verdauung unzugänglich, das der Haare und der menschlichen Epidermis besonders nicht. Hiermit und mit dem

1 Vgl. Kuhnt a. a. O.
2 Nach nicht publicirter Mittheilung.

Neurokeratin der grauen Netzhautsubstanz verglichen, erscheint das Stäbchenkeratin ausserordentlich resistent, etwa nur dem Keratin käuflichen Horns nachstehend. Um es frei von Nucleïnen, die es noch zurückhalten könnte, zu erhalten, empfiehlt es sich die Verdauung wie gewöhnlich, in alkalischer Lösung zu beenden; es macht aber nicht den Eindruck, als ob beim Uebergange von der neutralen Trypsinverdauung zur alkalischen noch eine Aenderung im Aussehen der Stäbchenreste erfolge, ebensowenig, wenn dieselben mit kalter Kalilauge von 1—5 pCt. einige Stunden behandelt werden. Man wäre versucht die den genannten Lösungsmitteln trotzenden Rückstände für thierische Cellulose zu nehmen, wenn nicht beim Neurokeratin des Gehirnes und der Nerven der Nachweis des Gehaltes an Schwefel (3 pCt.) und an Stickstoff vorläge [1], und wenn nicht auch an den Stäbchenresten alle Cellulosereactionen fehlschlügen, während die Gelbfärbung mit heisser Salpetersäure und die Röthung mit dem Millon-schen Reagens sehr gut gelingen. Mikroskopisch stellen sich die Keratinreste der Cylinder als glänzende, stark lichtbrechende, gerunzelte Fransen dar, deren viele jedoch deutlich röhrenförmigen Bau erkennen lassen. Ob dieselben an einem oder an beiden Enden offen sind ist schwer zu entscheiden, sie scheinen aber in Präparaten, deren Zusammenhang mit dem Keratin vorderer Netzhautschichten erhalten geblieben, nach Kuhnt's [2] Beobachtungen in zartere, den Innengliedern angehörige Hüllen überzugehen, welche wahrscheinlich im Zusammenhange mit der M. limitans ext. stehen. Damit würde das Stäbchen an seinem äusseren Theile zu einer Neurokeratinröhre, welche nach vorn Protoplasma des Innengliedes, nach hinten dessen zur Säule ausgewachsene Cuticularsubstanzen des Aussengliedes umfasst, eine Auffassung, welcher auch einige später zu erörternde Erscheinungen günstig sind.

Der Inhalt der Cylinder wird augenscheinlich aus zwei Formbestandtheilen gebildet, aus den Plättchen und aus deren Zwischen- oder Kittsubstanz, doch scheinen dieselben in der chemischen Structur wenig verschieden zu sein, besonders im Leben, oder im Ueberlebenszustande, wo auch die quere Streifung nicht oder kaum angedeutet ist. Die schon erwähnte successive Extraction der Cylinder lehrt, dass ihr Inhalt in zwei Gruppen von Stoffen zerfällt, von welchen die eine der Alkohol-Aetherbehandlung weichende, als myelogene, die andere als albuminöse zu bezeichnen ist; es finden sich aber keine Gründe je eine nur den Plättchen oder nur dem Kitte zuzu-

1 Verhandl. d. naturhist. med. Ver. z. Heidelberg 1876. I. 5. Heft.
2 Kuhnt a. a. O.

schreiben, um so weniger, als es sehr möglich ist, dass gewisse Bestandtheile der beiden Gruppen erst aus chemischer Spaltung eines einzigen präexistenten Körpers hervorgehen.

Das Stäbchenmyeloïd. Die von M. SCHULTZE und RUDNEFF[1] an den Cylindern gefundene Färbung durch Osmiumsäure erinnert wegen ihres schnellen Auftretens und wegen ihrer Tiefe am meisten an das von SCHULTZE gefundene Verhalten des Fettes und des Nervenmarkes gegen dasselbe Reagens; sie unterscheidet sich jedoch durch die Nuance; Fett wird in OsO_4 gelbbraun bis rothbraun, endlich rein schwarz, Nervenmark blaugrau bis blauschwarz, während die Stäbchenaussenglieder darin stets grünbraun, höchstens grünschwarz werden, Nuancen, welche an keinem andern Bestandtheile des Thierkörpers, mit Ausnahme der Myeloïdkörner des retinalen Epithels, wo sie in helleren Schattirungen auftreten, durch OsO_4 erzeugt werden. Ohne mit der Bezeichnung „Myeloïd" bereits einen chemischen Körper bezeichnen zu wollen, was ebenso unzulässig wäre, wie wenn man dem Worte Myelin oder Nervenmark einen bestimmten chemischen Begriff unterlegte, soll mit dem Worte nur die auf die genannte Weise gegen OsO_4 reagirende Mischung chemischer Körper bezeichnet werden. Hängt die Intensität der grünbraunen Färbung mit der Menge oder mit der Verdünnung des Myeloïds durch andere Substanzen zusammen, so sind die Cylinder als myeloïdreich, die auf OsO_4 viel schwächer reagirenden Kegel der Zapfen und viele dem Froschpräparate in dieser Reaction sehr nachstehende Cylinder von Stäbchen der Säuger für myeloïdarm zu erachten. Die Myeloïdkörner des retinalen Epithels müssen aus gleichem Grunde myeloïdarm heissen.

So wenig wie von dem Myelin des Nervenmarkes gelingt es vom Myeloïd Lösungen zu erhalten, welche direkt oder nach dem Verdunsten genau so reagirten, wie die präexistente Mischung. Es ist zwar ein Leichtes, Alkohol-Aetherextrakte aus Nerven oder Netzhäuten zu gewinnen, deren Verdunstungsrückstand sich mit OsO_4 sehr dunkel färbt, aber es gelingt nicht im einen Falle die grünbraune, im andern die blauschwarze Farbe zu erhalten, sondern es wird nur eine braune erzielt, wie von Fetten oder mit Oelsäure. Dennoch wird Nerven und Stäbchencylindern durch jene Extraction Alles geraubt, was ihr Verhalten zu dem färbenden Reagens bedingt.

Nervenmark giebt an Aether bekanntlich Lecithin, an heissen Alkohol Cerebrin ab, zwei wohl definirte chemische Körper,

---

3 M. SCHULTZE's Arch. f. microscop. Anat. I. S. 300.

welche aber von OsO_4 gar nicht gefärbt werden. Ebenso indifferent verhält sich Das, was aus der Netzhaut durch dieselben Mittel einigermaassen sauber abzuscheiden ist. Das Aetherextrakt von Ochsennetzhäuten giebt stark abgekühlt eine schwache, schnell auf dem Filter zu sammelnde Trübung, die vermuthlich aus Lecithin besteht und sich mit OsO_4 gar nicht färbt, und wenn man die mit Aether erschöpften Netzhäute mit Benzol oder mit siedendem Alkohol auszieht, bekommt man eine zweite, sich leicht vor beendeter Verdunstung rein weiss ausscheidende Substanz von dem Verhalten des Cerebrins, welche nach dem Kochen mit Schwefelsäure aus alkalischen Kupferlösungen in der Wärme Oxydul ausscheidet; auch dieses Cerebrin reducirt OsO_4 nicht. Die durch jene Säure geschwärzten Stoffe sind demnach unter den in Aether löslichen, nach Ausscheidung des Lecithins übrig bleibenden, sehr an Fette erinnernden Substanzen zu suchen, welche wahrscheinlich die im Leben aus dem Lecithin entstehenden Fettsäuren sind. Doch sind dieselben an ihrem natürlichen Standorte wohl combinirt mit irgend etwas Anderem zu denken, von dem das Lösungsmittel sie trennt, und welches die Nuancen der Färbung bedingt, wenn der eine Bestandtheil die OsO_4 reducirt. Es liegt nahe hier an Albumine zu denken, die im Nervenmarke anscheinend in noch grösserer Menge vorkommen, als in den Stäbchencylindern. Da verschiedene Lecithine mit Recht angenommen werden, weil dieselben nach dem Fundorte wechselnde Mengen von Palmitinsäure, Stearinsäure und Oelsäure, neben dem Cholin und der Glycerinphosphorsäure bei der Zersetzung liefern, so können Myelin und Myeloïd, deren Verhalten gewiss auf der Gegenwart einzelner jener Lecithinabkömmlinge beruht, sich in den Nuancen der OsO_4-Färbung vielleicht nur deshalb unterscheiden, weil an ihrem Standorte das eine oder das andere Lecithin Verwendung fand.

Die Cylinder der Froschnetzhaut sind nicht alle gleich myeloïdhaltig, einzelne sind in ganzer Ausdehnung, andere partiell arm daran, manche so arm wie die Myeloïdkörner der Epithelzellen. Man sieht dies an Präparaten abgeschüttelter Cylinder, die lange in grossem Ueberschusse von einprocentiger OsO_4 gelegen, unter welchen es immer manche von auffallend blasser Farbe, viele von partieller heller Olivenfärbung giebt. Bemerkenswerther Weise wird die letztere niemals in der Mitte der Cylinderlänge, sondern ausschliesslich an einem Ende gefunden, das sich da, wo vorn und hinten durch das anhaftende Innenglied zu unterscheiden sind, ausnahmslos als das periphere, in die Basis der Epithelzellen reichende erweist.

Wenn der Cylinderinhalt in Plättchen zerfallen ist, sieht man

diese sowohl, wie ihre Zwischensubstanz an der Färbung durch OsO_4 Theil nehmen; es muss daher beiden Myeloïd zugeschrieben werden. Wahrscheinlich sind die Plättchen besonders reich an Cerebrin, denn sie sind es, die nach vorgängiger Aetherbehandlung noch kenntlich, am meisten durch kochenden Alkohol oder Benzol schwinden. Indess bleibt auch dann noch etwas in den runzeligen Troddeln übrig, welche die Cylinder vor der Extraction durch Verdauung darstellen, was auf Reste der Plättchenstructur zu deuten scheint.

Seit M. SCHULTZE's Untersuchungen sind noch manche sowohl auf Eiweissstoffe, wie auf Myeloïd in den Cylindern deutende Reactionen bekannt, so die erstaunliche Quellung in verdünntem Aetzkali, die alle Structur daran unkenntlich macht. In concentrirten Harnstofflösungen quellen sie ebenfalls und backen darauf zu grossen durchsichtigen Klumpen zusammen; ähnlich wirkt rasches Gefrieren und Wiederaufthauen. Am überraschendsten ist ihr Verhalten zur Galle (glyco- oder taurocholsaurem und cholalsaurem Alkali), von 1—5 pCt., worin sich die Cylinder und Kegel aller Sehzellen sämmtlicher Thiere leicht auflösen, unter Hinterlassung leerer, dünnwandiger Scheiden. Hierin stimmt der Inhalt der Aussenglieder bemerkenswerther Weise mit dem Nervenmarke, mit vielen Blutkörperchen, mit dem Protoplasma des retinalen Epithelzellen und deren Myeloïdkörnern, sowie mit den Axencylindern markhaltiger Nerven überein und zwar wohl deshalb, weil die Galle ein Mittel ist, das ausser genuinen, selbst festen Albuminen, leicht Lecithin und Cerebrin auflöst, oder ein Medium, welches die sich sonst gegenseitig ausschliessenden Behandlungen mit wässrigen und alkoholisch-ätherischen Extractionsflüssigkeiten, in Einem ersetzt. Sehr eiweissreiche Elementarorganismen werden nach bekannten Erfahrungen nicht von Galle gelöst, vermuthlich weil diese (die meisten Epithelien) ausser den genuinen Albuminen, schwerer lösliches, umgewandeltes enthalten, das ihnen den Halt giebt, welche albuminärmere (Blutkörperchen z. B.) in den für wässrige Flüssigkeiten kaum angreifbaren, myelogenen Stoffen finden dass die letztere Art in den Nerven und Sinnesepithelien überwiegt, kann mit der rapiden chemischen Veränderlichkeit, die wir Allem, was nervös ist, zuschreiben müssen, zusammenhängen.

Die Auflösung der Cylinder durch Galle stellt sich unter dem Mikroskope, bei hinreichender Frische der Netzhaut, fast explosionsartig dar: es ist ein Zerplatzen der Aussenglieder, das die ganze Membran von der Stelle rücken kann, von einer Plötzlichkeit, mit welcher nur das Schwinden der meisten Säugerblutkörperchen und die Zerstörung retinaler Epithelzellen, unter Fortstieben der Fuscintheilchen in demselben Medium vergleichbar ist. An einzeln schwimmenden Stäbchen ist der Vorgang am

besten zu erkennen, indem man ihn in Präparaten verschiedener Ueberlebenszeit verfolgt, da er sich nach dem Tode immer langsamer abwickelt. Man sieht da die zunächst ganz unveränderten Cylinder, an irgend einer Stelle schwer zu beschreibende Aenderungen der Lichtbrechung erleiden, welchen ein plötzliches Auftreten sehr deutlicher Querstreifung unmittelbar folgt; darauf tritt in den Plättchen ein durch den ganzen Cylinder reichender, centraler, mit Ausbuchtungen versehener Canal auf; die Querstreifen werden ungemein breit, verschwinden wieder und es hinterbleibt von den Stäbchen anscheinend nichts. Sobald die Galle durch Salzlösung ersetzt ist, findet man aber ausser wenigen gequollenen Klümpchen, röhrenförmige Reste der Cylinder, deren mit dem Keratin übereinstimmendes Verhalten durch die Resistenz gegen kalte Kalilösung und gegen eine auf dem Objectträger im feuchten Raume vorzunehmende Trypsin- oder Pepsinverdaunng festzustellen ist. Während des Ablaufes der Veränderungen im Innern erleiden die Cylinder natürlich entsprechende Aenderungen der Grösse: sie werden dicker und bedeutend länger; dabei krümmen sie sich zuerst, ehe sie sich wieder strecken. Ist die Netzhaut frisch genug und tritt die Galle auf einmal rasch und hinreichend concentrirt hinzu, so verlaufen die genannten Erscheinungen in einem Augenblicke, wie wenn der Cylinder eine mit Münzen gefüllte, platzende Rakete wäre. An abgestorbenen Netzhäuten erzeugt die Galle langsame Quellung der Cylinder, schliesslich scheinbar auch Lösung; es sind aber durch Salzzusätze später so viele klumpige Reste sichtbar zu machen, dass nur Auflösung eines Theiles der den Inhalt zusammensetzenden chemischen Körper anzunehmen ist. Unter den alsdann nicht gelösten Stoffen findet sich einer, von dem der Wandel der Löslichkeit besonders scharf, wie in dem Folgenden gezeigt wird, festzustellen ist.

2. *Farbstoffe der Sehzellen.*

In den Sehzellen sind Pigmente seit den Untersuchungen Hannover's[1] über die Retina der Reptilien und Vögel bekannt; sie finden sich da in den Oelkugeln der Zapfen, welche genau an der Grenze des Innen- und Aussengliedes liegen. Die Farben repräsentiren die ganze Scala des Spectrums und erreichen mit Ausnahme des Blau grosse Sättigung; ausserdem kommt eine aus Spektralfarben nur durch Mischung zu erhaltende vor: Purpur. Vorzugsweise verbreitet sind die Purpurfarbe und die das Spectrum vom rothen Ende bis zum Grün einnehmenden Farben. Wegen der ziemlich gleichmässigen Ausstreuung der verschiedenfarbigen Oelkugeln erscheint die Vogelnetzhaut mikroskopisch, meist wohl schmutzig und zweifelhaft nuancirt, so dass der Anblick auf die Fläche wenig von der Pracht und Mannigfaltigkeit der kleinsten Setzstücke ihrer Mosaik ahnen lässt; nur wo eine Farbe sehr überwiegt, sieht die ganze Netzhaut gelb, gelbgrün oder schön roth

1 A. Hannover, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1840. S. 320.

aus. Ausser bei den Vögeln findet sich gefärbtes Fett in den Zapfen vieler Reptilien, deren Netzhaut in diesem Falle gelb aussieht, da hier nur diese Farbe die Regel ist; allein die Schildkröten besitzen nach M. SCHULTZE[1] auch rothe Oelkugeln. Im Auge vieler Wirbellosen ist ein schön carminrothes Pigment seit lange bekannt, doch beschrieb erst 1839 KROHN[2] die seitdem vielfach bestätigte, schöne Rosenfarbe der Stäbchen von Cephalopoden; ähnliche rosa oder violette Färbungen wurden nach und nach an den Sehstäben anderer Evertebraten, bei den Insecten besonders von LEYDIG, bei den Krebsen von M. SCHULTZE beschrieben.

Bei Wirbelthieren, wo man bis dahin nur farbige Zapfen kannte, sah HEINRICH MÜLLER[3] zuerst, dass die Stäbchen des Frosches zuweilen roth seien. LEYDIG[4] verallgemeinerte dies für die Amphibien und fand, dass die frische Retina des Frosches dem blossen Auge lebhaft rothen Atlasschiller zeige; er bezeichnete die Farbe zuerst als rosenroth, worin ihm M. SCHULTZE[5] folgte, der die Färbung ausser beim Frosche, bei einem Säuger, der Ratte, und in den Stäbchen der Eule bemerkte. Trotz dieser merkwürdigen, von Vielen vergessenen oder ignorirten Angaben ist mit grösster Bestimmtheit zu behaupten, dass wenn man vor dem Jahre 1876 irgend einen Biologen, mit Ausnahme der eben genannten oder der intimeren Schüler M. SCHULTZE's gefragt hätte, wie die Stäbchen der Wirbelthiere aussähen, man die Antwort erhalten hätte: farblos, glänzend u. s. w.

Erst BOLL[6] lenkte die allgemeine Aufmerksamkeit auf das verbreitete und constante Vorkommen farbiger Stäbchen und entdeckte in der Retina des Frosches auch grüne Stäbchen. Was diesen Beobachtungen besonderen Werth und das grösste Interesse verleihen musste, war aber die weitere Entdeckung BOLL's, dass im Hellen gehaltene Frösche blassere, durch directes Sonnenlicht länger geblendete, völlig farblose Retina zeigen und die Angabe, dass die Farbe sich in der herausgenommenen Froschnetzhaut kaum eine Minute halte, beim Säugethiere schon im Auge einige Augenblicke nach dem Tode vergehe. Eine ohne Frage äusserst wichtige Beziehung der Retinafärbung zum Lichte war damit constatirt, deren Bedeutung durch die Angabe, dass die Färbung sich bei geblendeten Fröschen in der Dunkelheit alsbald

1 M. SCHULTZE, Artikel Retina in Stricker's Handb. d. microscop. Anat. und HANNOVER a. a. O.
2 A. KROHN, Verhandl. d. Leopold. Car. Acad. XIX. 2. S. 45. 1842.
3 H. MÜLLER, Ztschr. f. wissensch. Zool. III. S. 234—237. 1851 u. VIII. S. 1—122.
4 FR. LEYDIG, Lehrb. d. Histologie 1857. S. 238 u. 239.
5 M. SCHULTZE, Arch. f. microscop. Anat. II. S. 199 u. 208.
6 FR. BOLL, Monatsber. d. Berliner Acad. 12. Nov. und Accad. d. Lincei. 3. Dec. 1876.

wiederherstelle, nur erhöht werden konnte. Um sich von dem Thatsächlichen zu überzeugen, schrieb Boll vor, das Auge so schleunig wie möglich am Kopfe des Frosches zu halbiren und die Retina unter Vermeidung von Druck, welcher ebenso wie das Absterben die Farbe vernichte, sogleich mit blossem Auge oder mikroskopisch zu besehen, bei Säugern dagegen im Momente des Chloroformtodes die Netzhaut mit dem Augenspiegel zu betrachten, wo man die rothe Farbe des Augengrundes plötzlich verschwinden sehe. Beim Menschen sei daher der Tod durch den Augenspiegel zu constatiren. Eine in der Thiereihe auf die angegebene Weise vorgenommene Umschau veranlasste Boll die „Purpurfarbe“ als welche er die „Eigenfarbe“ der Netzhaut bezeichnete, der „plättchenstructurirten Substanz der Stäbchen und Zapfen“ sämmtlicher Thiere, vielleicht mit Ausnahme der Reptilien, deren Zapfenaussenglieder sehr klein sind, zuzuschreiben. Ob die Färbung von Interferenz oder von einem Farbstoffe herrühre, blieb unter Erinnerung an die bei den Plättchensäulen sehr denkbare Erscheinung der Farben dünner Blättchen unentschieden.

So grosse Hoffnungen diese Befunde erwecken mussten, so gering war die Aussicht über dieselben hinauszukommen bei einem Objecte, das sich unter der Hand in wenigen Augenblicken der weiteren Bearbeitung der Art entzog, wie die Farbe der Retina. Indess hatte eine solche Structur oder eine solche Substanz, welche, nachdem wir ihr kaum genaht, sogleich aufhörte zu sein, was sie gewesen, in der wundersam empfindlichen Netzhaut die grösste Wahrscheinlichkeit für sich. Man brauchte sich nur der von du Bois-Reymond und von L. Hermann studirten, erstaunlich geringfügigen Einwirkungen zu erinnern, durch welche an dem gewiss ungleich weniger alterablen Muskelgewebe die mächtigsten Einflüsse auf dessen electromotorisches Verhalten ausgeübt werden, um ein Beispiel für die jähen, materiellen Veränderungen leicht erregbarer, thierischer Gebilde nach minimalen Eingriffen in ihre natürliche Anordnung zu finden. Dass die Stäbchenfarbe der Wirbellosen solche Grade der Empfindlichkeit gegen das Absterben nicht zeige, war freilich lange bemerkt, sprach aber erst recht für Boll's Darstellung, weil die Elementarorganismen niederer Geschöpfe nach geläufigen Erfahrungen im Allgemeinen selbständigere Existenz besitzen und vom Gesammtorganismus getrennt, viel langsamer absterben, als die der höheren Thiere. Erwog man endlich die empfindliche Reaction des Auges und der Retina gegen alle möglichen Reize ausser dem Lichte, und die starken Sehempfindungen, welche derartige Insulte uns bereiten, so lag der Gedanke nahe, dass die Stäbchenfarbe im Leben auch durch diese ver-

gehe, im Tode durch das Aufhören der Ernährung und Athmung schwinden werde und mit grösster Rapidität nach dem Herauszerren der hochempfindlichen Membran aus dem Auge, welches sie in sich selbst, am gefährlichsten Orte beim Abheben vom Epithel, spaltet, vernichtet werden müsse.

Indess nahm der Gegenstand sogleich nach BOLL's Mittheilungen eine andere Wendung. Von FR. HOLMGREN's[1] schönen Beobachtungen über die stundenlang bemerkliche Veränderlichkeit des electromotorischen Verhaltens eines isolirten und halbirten Froschauges auf Licht und Dunkelheit ausgehend, fand ich den eben erörterten Gedankengang, welcher der Aufnahme von BOLL's thatsächlichen Angaben zu Grunde gelegen, unwahrscheinlich, und ein Versuch belehrte mich sofort, dass auch die an der Epithelverbindung aufgerissene Froschnetzhaut in einem möglichst schwach erleuchteten Raume (ich hatte ein kopfgrosses Loch im geschlossenen Fensterladen mit gelbem Papier bespannt) ihre Farbe stundenlang bewahrt, sie aber an gutem Tageslichte sogleich verliert. Da der Versuch mit im Dunkeln gefaulten, mit zerquetschten und wieder zusammengeschabten Netzhäuten, mit in NH_3 erweichten oder in Alaun gehärteten in gleicher Weise gelang, war jeder Einfluss des Absterbens auf die Retinafarbe widerlegt, das Licht als die alleinige Ursache ihres Abblassens und Schwindens erkannt, wie es nach partieller Belichtung erhaltene, photographische Bilder überdies schlagend bewiesen, und die Unabhängigkeit der Stäbchenfarbe von allen Structurverhältnissen dargethan. Es blieb jetzt nur eine Annahme übrig: die Stäbchen enthalten einen Farbstoff, einen Sehpurpur; dieser wird durch Licht zersetzt: es giebt eine rapide photochemische Wirkung in der Netzhaut.[2]

A) Der Sehpurpur.
(Rhodopsin.)

Beobachtungsmethode. Die Gegenwart des Sehpurpurs wird zunächst an der dem blossen Auge kenntlichen Farbe der isolirten Netzhaut constatirt. In zweifelhaften Fällen und wenn die Vertheilung in einer Netzhaut zu untersuchen ist, wird die Retina möglichst frisch, vom Epithel befreit, mit der Rückfläche gegen ein sehr grosses, hohl aufgelegtes Deckglas geklebt, und unter Schutz vor Verdunstung, bei gerade hinreichendem Tageslichte, mikroskopisch betrachtet, wobei starke Vergrösserung nicht ausgeschlossen, zuweilen

---

1 FR. HOLMGREN, Upsala Läkareförenings Förhandlingar 1871.
2 W. KÜHNE, Zur Photochemie der Netzhaut a. a. O. I. S. 1. 5. Jan. 1877.

nöthig ist. In Uebereinstimmung mit BOLL's Beobachtungen ist auf Verwendung aus dem Dunkeln kommender Thiere zu halten, obwohl in mässigem Lichte befindliche Frösche, welche in geschlossenen, direktem Sonnenscheine unzugänglichen Räumen verweilten, auch brauchbar sind. Um maximale Färbung zu finden, sollen die Frösche 1—2 Stunden im Dunkeln verweilt haben. Beim Präpariren der Augen und Netzhäute ist Eile ganz ausgeschlossen, da dasselbe nur vor solchem Lichte geschieht, welches die Stäbchenfarbe erst nach Stunden afficirt. Jeder vor Tageslicht geschützte Raum genügt um darin jene gelbe, mittelst der Natronflamme erhaltene, fast monochromatische Beleuchtung herzustellen. Die Flamme des Bunsen'schen Brenners wird mit 2 an sehr feine Platindräthe angeschmolzene Sodaperlen, die 15—30 Minuten aushalten (nicht mit dem zu flüchtigen NaCl) versehen, um für die feinsten Präparationen auf 50 Ctm. Entfernung, bei gutem Gasdrucke mehr als genügend Licht zu gewinnen.

Die Retina der Frösche ist aus dem im Aequator halbirten Auge sehr leicht herauszuziehen, nachdem der Opticusansatz hinten an der Sclera abgeknipst worden, bei richtiger Ausführung mit unversehrter Papille. Augen von Säugethieren werden nach dem Ausstürzen des Glaskörpers in einen tiefen mit 0,6 pCt. NaCl-Lösung gefüllten Teller gebracht, auf dessen Boden ein Stück Bleiplatte liegt. Indem man die hintere Augenhälfte mit dem Opticus gegen das Blei legt und von vorn so mit einem Locheisen gegen die Papille im Augengrunde drückt, dass die Netzhaut ringsum sicher bis zur Uvea durchschnitten wird, trennt man sie von der einzigen Haftstelle; sie ist dann oft leicht mit Hakenpincetten vom Aequator her als flottirendes Häutchen abzulösen. Der Grund des Vogelauges wird am besten vom Rande her durch 2 hart neben dem Pecten verlaufende Scheerenschnitte, die sich an dessen centralem Ende treffen, vorbereitet. Menschliche Augen sind gleich nach dem Tode oder nach der Enucleation bis zur Ankunft am Untersuchungsorte in Eis zu conserviren, worauf sie nach mehr als 24stündigem Aufenthalte noch sehr brauchbar sind. Ist die Netzhaut ohne Zerstörung von ihrem Epithelium nicht zu lockern, wie z. B. häufig beim Affen, trotz Dunkelaufenthalt und vollkommener Frische, so wird das schon halbirte und des Glaskörpers beraubte Auge 24 Stunden in Kalialaun von 4 pCt. geworfen, ein Verfahren das immer zum Ziele führt. Der vordere Abschnitt der Netzhaut ist durch einfaches Ziehen unter Salzwasser, meist im Zusammenhange mit der Zonula Zinnii und der Linse vollkommen isolirbar.

1) Vorkommen und Verbreitung des Sehpurpurs.

Wenige Ausnahmen abgerechnet kommt der Sehpurpur in allen stäbchenführenden Netzhäuten der Vertebraten, von Petromyzon bis zum Menschen vor. Ausnahmen wurden beobachtet bei einer Fledermaus (Rhinolophus hipposideros), und bei manchen Tagvögeln (Hühnern und Tauben). Petromyzon hat sehr schwach purpurfarbene Netzhaut, ebenso Triton, welchem nach M. SCHULTZE nur eigenthümliche, den Stäbchen- und Zapfenbau vereinigende Uebergangsformen von Sehzellen zukommen. FUCHS und WELPONER[1] SCHENK und ZUCKERKANDL[2] entdeckten die Purpurfärbung der menschlichen Retina, nachdem ich die Unzerstörbarkeit der Netzhautfarbe durch Absterben auch bei den Säugern constatirt und die Methode der Natronbelichtung eingeführt hatte. Die Ersteren fanden auch, dass 9- und 7monatliche menschliche Foeten, deren Auge niemals Licht empfangen, purpurne Netzhäute besitzen. Ich fand dasselbe bei einem Rindsfoetus von 65 Ctm., während ich bei neugebornen Kaninchen, die nach M. SCHULTZE nur Andeutungen der Cylinder an den Stäbchen besitzen, die Netzhaut noch ungefärbt sah. In einem lebenswarmen, völlig normalen, dunkel gehaltenen menschlichen Auge, das O. BECKER enucleïrt hatte, fand ich die Netzhaut von schön violettpurpurner Farbe, am Lichte schnell zu hellem Lila ausbleichend.

MICHEL und ROSENTHAL[3], die ein ebensolches Auge untersuchten, geben an die Netzhaut farblos gefunden zu haben, doch sind sie wahrscheinlich Opfer ihres Irrthums, dass die Netzhautfarbe reinroth, nicht, purpurn sei, geworden, der sie verhinderte statt des beim Abblassen fälschlich erwarteten Gelb, das helle Lila zu erkennen.

Sehpurpur ist enthalten in der Netzhaut aller darauf untersuchten, auch der das Dunkle liebenden Thiere, beim Dachs, bei der Ratte und bei albinotischen Kaninchen, beim Aal und bei allen Eulen sogar in besonders grosser Menge, ferner bei den Raubvögeln, bei den Knochenfischen und bei den Knorpelfischen, wo die Farbe zuerst von BOLL gefunden wurde.[4] Dagegen ist bis heute bei den Wirbellosen, trotz zahlreicher Bemühungen, niemals ein Auge mit Sehpurpur gefunden; wie später bewiesen wird, rühren die Purpurfärbungen dort von ganz anderen, im Lichte sehr langsam vergänglichen Pigmenten her.

Stäbchencylinder ohne Purpur finden sich in der Nähe der Ora serrata des Menschen und des Affen (und wol am gleichen Orte noch

1 FUCHS und WELPONER, Wiener med. Wochenschr. 1877. S. 221.
2 SCHENK und ZUCKERKANDL, Allgem. Wiener med. Ztg. 13. März. 1877.
3 MICHEL, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. No. 24.
4 BOLL, Monatsber. d. Berliner Acad. l. c.

bei vielen anderen Thieren), so dass eine 3—4 mm. breite nach aussen etwas schmälere, farblose Zone die Netzhaut vorn begrenzt.[1] In menschlichen Augen scheinen auch die im Umkreise der Fovea centralis in der Macula lutea spärlich zwischen den Zapfen stehenden Stäbchen purpurfrei zu sein. In der Netzhaut des Kaninchens, des Ochsen, des Schafes, ausgewachsener Hunde und der Katze findet sich ein den Horizont einnehmender, mehr minder breiter, nach oben deutlicher als nach unten abgegrenzter, purpurreicherer Streif, der beim Kaninchen eine deutlich erhobene „Sehleiste", bei andern Thieren mehr einen flachen „Sehgürtel" darstellt; es ist noch nicht genügend untersucht, ob dieses Gebilde von purpurreicheren, oder nur von längeren Cylindern und Stäbchen herrührt.

Die Purpurfarbe neigt bei einzelnen Thieren mehr zum Violet als bei anderen, am stärksten bei den Eulen (besonders bei Nyctaëtos lacteus), bei den meisten Fischen (auch beim Aal), unter den Säugern beim Hammel und beim Menschen.

Das Vorkommen des Sehpurpurs ist überall auf die Stäbchencylinder beschränkt; Zapfenaussenglieder sind niemals gefärbt. Je reicher an Zapfen eine Netzhaut im Ganzen oder stellenweise ist, desto purpurärmer ist sie. Die stäbchenfreie Reptiliennetzhaut enthält keinen Sehpurpur, und es ist die Retina der Schlangen, welche auch kein gelbes Zapfenpigment enthält, ohne Epithel, vollkommen farblos. In den zapfenreichen Netzhäuten der Fische und Tagraubvögel tritt der Sehpurpur sehr zurück: die Purpurfarbe zeigt sich dort mussivisch oder streifig unterbrochen. Beim Menschen fand ich die nur Zapfen enthaltende fovea centralis eines lebenswarm untersuchten normalen Auges, sowie vieler in Eis conservirter Augen von im Dunkeln Verstorbenen völlig farblos und die Purpurfärbung vom Centrum aus in dem Maasse gegen den Aequator zunehmend, wie die Zahl der Zapfen gegen die der Stäbchen abnimmt.

2) Darstellung des Sehpurpurs.[2]

Die Vorschrift nur vor solchem Lichte zu arbeiten, welches die Netzhautfarbe am meisten schont, gilt im erhöhten Maasse für die länger dauernden experimentellen Untersuchungen der retinalen Farbstoffe. Da Froschnetzhäute das hauptsächlich in Betracht kommende Material sind, das im Leben, wie schon angedeutet wurde, ziemlich viel Licht verträgt, könnte die Anforderung übertrieben scheinen; aber es ist hier gleich vorauszuschicken, dass ein Auge, welches ohne

1 W. KÜHNE a. a. O. I. S. 33 und 107.
2 W. KÜHNE, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. S. 194 und a. a. O. S. 42 u. f.

Schädigung bis zum Momente der Exstirpation mässigem Lichte ausgesetzt worden, unmittelbar darauf von demselben Lichte stark an seiner Netzhaut verändert wird, wenn diese abgehoben ist. Vollends gilt dies für mechanisch zerstörte Netzhäute. Das Licht der Natronflamme ist zwar nicht vollkommen unwirksam und kann völligen Lichtabschluss, von welchem immer noch Gebrauch zu machen bleibt, nicht ersetzen, ist aber, wo man etwas sehen muss, das einzig brauchbare, jedem gemischten und noch so abgeschwächten Lichte vorzuziehen und nicht durch das freilich noch weniger wirksame, rothe zu ersetzen, weil letzteres die Unterscheidung des Blutes, welches im monochromatisch gelben Lichte zum Vortheile der Präparationstechnik schwarz wie Tinte aussieht, nicht gestattet.

Das einzige zur Trennung des Sehpurpurs von allen geformten Bestandtheilen gefundene Mittel besteht in der Auflösung frischer Stäbchen durch Galle, oder in den S. 257 genannten, reinen gallensauren Alkalisalzen. Keins von den die Netzhautfarbe erhaltenden Mitteln (vergl. unten S. 283), das dazu ausserdem geeignet scheinen würde, kann die Galle ersetzen. So sehr es z. B. bei der Quellung der Stäbchen in sehr concentrirter Harnstofflösung oder nach wiederholtem Gefrieren und Aufthauen im Dunkeln, was die Netzhautfarbe gar nicht verändert, den Anschein haben kann, als ob die Farbe sich homogen, wie in Lösung verbreite, so bestimmt beweist die Farblosigkeit des Filtrates solcher Massen das Gegentheil.

Die zur Extraction der Netzhäute dienende Gallelösung wird zweckmässig aus farbloser, krystallisirter Ochsengalle erhalten, indem man aus einem Vorrathe dosirter, alkoholischer Lösung die zum jedesmaligen Gebrauche nöthige Menge abmisst und nach vollständiger Entfernung des Alkohols auf dem Wasserbade, aus dem festen Rückstande wässrige Lösungen der gewünschten Concentration, am besten von 2—5 pCt. bereitet. Die wässrige, bekanntlich sehr zersetzliche Lösung durch desinficirende Zusätze vor Fäulniss geschützt, vorräthig zu halten, empfiehlt sich nicht.

Nur die Netzhäute des Frosches, der Kröte, des Salamanders, der Eulen, des Kaninchens und des Pferdes geben hämoglobinfreie Purpurlösungen, die der beiden letzteren, indem man die gefässhaltige Gegend der Opticusausbreitung fortlässt; bei den andern genannten scheint der Blutgehalt, in Ansehung der schwereren Löslichkeit kernhaltiger Blutkörperchen durch Galle, zu klein zu sein um schaden zu können, abgesehen davon, dass die allein Gefässe führende M. hyaloïdea der Amphibien sich oft ablöst.

Alle Netzhäute sollen frisch, bei Warmblütern nicht über eine Stunde alt sein, während zuvor isolirte Froschretinae je nach der Temperatur selbst 24 Stunden gelegen haben können. Im Absterben

tritt der schon S. 258 erörterte Punkt ein, wo die Stäbchen durch Galle nur scheinbar vergehen, sich in Wirklichkeit aber nicht vollkommen auflösen, oder nur quellen, worauf sie ganz ungefärbte Filtrate liefern. Hinsichtlich der vorzugsweise in Verwendung kommenden Froschaugen ist zu bemerken, dass ihnen die Netzhaut sogleich nach der Decapitation zu entnehmen ist, wenn dieselbe epithelfrei sein soll.

20—30 Froschnetzhäute werden mit etwa 1 Cub.-Ctm. Galle von 2 pCt. übergossen, eine Stunde unter öfterem Schwenken und Rütteln, wobei heftiges Schütteln durchaus zu vermeiden ist, darin erhalten, weiter einige Stunden zum Absetzen ruhig stehen gelassen und so auf ein möglichst kleines Filter gebracht, dass zunächst die überstehende Lösung abläuft, welche leicht filtrirt. Der schleimig-gallertige Bodensatz giebt den Rest des Flüssigen langsamer ab und wird deshalb nachträglich in das Filter gethan. Man kann sich leicht überzeugen, dass derselbe durch mehrmaliges Auswaschen mit Galle im Dunkeln vollkommen entfärbt wird und die Waschflüssigkeit zur Entscheidung über das Aussehen verdünnter Purpurlösungen benutzen. Um sehr concentrirte Sehpurpurlösungen zu gewinnen, ist es nicht rathsam das Volum der Galle zu vermindern, sondern besser sie concentrirter anzuwenden und das Filtrat rasch im Vacuum einzudicken.

Die Sehpurpurcholatlösungen sind vollkommen klar und je nach Concentration und Herkommen von verschiedener, in Nuance und Tiefe wechselnder Purpurfarbe. Gelegentliche Trübung oder leichte Grade anscheinender Opalescenz, die Verdacht auf Fluorescenz erwecken können, rühren von kleinen Mengen beigemischten Fuscins her, das nach längerer Ruhe vollkommen zu Boden geht. Ans Tageslicht gebracht zeigt die Lösung die schöne Farbe nur einige Augenblicke, indem sie schleunigst roth, darauf gelb, zuletzt farblos wird, wie Wasser.

Im Dunkeln, über Schwefelsäure, im Vacuum verdunstet hinterlässt sie einen Firniss etwa von dem Aussehen ammoniakalischer Carminlösung, in welchem mikroskopisch dunkelviolette, fast schwarze amorphe Partikel neben dunklen Pünktchen unbestimmbarer Farbe zu sehen sind. An feuchter Luft im Dunkeln liegend, zieht das Object so viel Wasser an, dass sich zunächst feuchte Flecken oder Augen darin bilden, von sehr tiefer, stark zum Violett gehender Färbung, während die genannten Partikel sich wieder lösen. Nach dem Bleichen am Lichte ist von den letzteren überhaupt nichts wieder zu finden, was etwaigen Verdacht gegen Fuscinkörnchen widerlegt. Die Purpurcholatlösungen faulen ausserordentlich leicht und bedecken sich

später mit dichten Schimmelrasen, verlieren aber, ebenso wie faulende Netzhäute bei sorgfältigem Lichtschutze nach Monaten nicht an Färbung. Die Fäulniss lässt sich für einige Tage auch bei Sommertemperaturen durch das von KLEBS als fäulnisswidrig verwendete Natriumbenzoat verhüten, tritt aber schliesslich immer auf, selbst bei Zusätzen von 2—3 pCt. des Mittels.

In kleinen Dialysoren von vegetabilischem Pergament verliert die Purpurlösung bald alle Galle, welche zum Wasser ohne Spur von Färbung übergeht, während auf der Membran ein tief purpurnes, myelinartiges Magma zurückbleibt, das ebenso empfindlich ist gegen Licht, wie die Netzhaut selbst.[1]

Als unlöslicher Rückstand und frei von myelogenen, collagenen, albuminösen und nucleïnartigen Stoffen kann Sehpurpur, freilich untrennbar an Neurokeratin haftend, dargestellt werden. Zu dem Ende sind abgestorbene Netzhäute, welche Galle nicht mehr färben, verwendbar, indem man die damit vorgängig extrahirte Masse erst mit Wasser, dann mit Essigsäure von 0,5 pCt., und darauf schnell wieder mit Wasser auswäscht, in sehr schwach mit Salicylsäure angesäuerte Trypsinlösung bringt und bei etwa 35 ° C. 24 Stunden verdaut. Der ungelöste Rückstand erst mit NH_3 zur Entfernung von Mucin und Nuclein extrahirt, darauf getrocknet, endlich mit Benzol behandelt, welches Fettresiduen und myelogene Materien fortnimmt, stellt eine kaum mehr veränderliche, in Wasser nicht quellende Masse, von guter Purpurfarbe dar, die im Lichte rasch gelb, darauf allmählich grau wird.

Die wichtige Frage nach der Uebereinstimmung des dargestellten Sehpurpurs mit dem präexistenten macht es nöthig, das ganze optische und chemische Verhalten durch Parallelversuche jeder Art an der Purpurcholatlösung und an der Netzhaut festzustellen. In dem Folgenden wird darum das Verfahren und dessen Resultate für beide Objecte mitgetheilt, nach welchen sich am besten über physiologisch beachtenswerthe Unterschiede und deren Ursache urtheilen lässt. Was in chemischer Hinsicht über den Sehpurpur mitzutheilen ist, kann erst nach Erledigung des optischen Verhaltens erörtert werden.

3) Optische Eigenschaften des Sehpurpurs.[2]

Aussehen. Bei einem am Lichte bleichenden Farbstoffe sind wir im Allgemeinen gewöhnt die Farbe wesentlich durch Abnahme der Sättigung sich ändern zu sehen, und aus den blasseren, vor vollendeter Bleiche auftretenden Nuancen auf die ursprüngliche zu schlies-

1 A. EWALD und W. KÜHNE a. a. O. S. 454.
2 Vgl. Dieselben a. a. O. I. S. 140 u. f.

sen. Wird ein Körper anders gebleicht, indem er inzwischen die Farbe wechselt, so sagen wir die Farbe verschiesse, wie dies an manchen namentlich mit Mischungen zweier Pigmente verschiedener Echtheit gefärbten Gegenständen zu sehen ist. Die Literatur der Netzhautfarbe ist überreich an Irrthümern, welche dem Vergessen einer so einfachen Sache entsprungen sind, denn nachweislich beruht die verbreitete Annahme einer rothen, betont reinrothen Eigenfarbe der Retina auf der Betrachtung angebleichter, im rothen bis gelben Stadium gefundener Objecte, aus denen fälschlich auf die ursprüngliche und Lebensfarbe zurückgeschlossen wurde. Beim Sehpurpur liegt die Ursache des Verschiessens höchst wahrscheinlich nicht darin, dass er eine Mischung aus echterem rothen und empfindlicherem blauen oder violetten Pigmente darstellt, sondern in der Entstehung eines gelben Zwischenproductes, welches endlich erst in Weiss übergeht. Welches jedoch die Ursache der Umschlagfarben sein möge, so liegt es auf der Hand, dass bei einem durch Licht zersetzlichen Körper das Aussehen im ersten Augenblicke der natürlich möglichst schwach zu nehmenden Belichtung maassgebend ist und dass nicht Lichtbleiche, sondern Verdünnung im Dunkeln das Mittel ist, um zu erfahren, wie die Farbe bei geringer Sättigung aussieht. Um des eigenen Auges bei dieser überaus wichtigen Angelegenheit sicher zu sein, muss dasselbe natürlich von Nachwirkungen vorher gesehener Farben frei sein, also vor Allem den Einfluss der Natronbeleuchtung erst überwunden haben, ehe man an die Betrachtung der davor hergestellten Pigmente im gemeinen Lichte geht.

Sehpurpurlösung wird durch Verdünnen nicht gelb, sondern rosa, stärker verdünnt lila, geht also zu Farben über, welche auf diese Weise niemals aus reinem Roth hervorgehen. Um dem Einwande zu begegnen, dass das Pigment kein Wasser vertrage, braucht die lila Lösung nur wieder im Vacuum concentrirt zu werden um die alte Farbe zurückzugewinnen, die dann im Lichte grade so gelb wird, wie die jeder andern Purpurlösung, welche nicht verdünnt worden. Unschwer lässt sich dies Alles auch am Sehpurpur in situ erkennen, indem man die frische Netzhaut zwischen zwei Glasplatten im Dunkeln zerquetscht und darauf schnell am Lichte besieht: die letzte erkennbare Farbe ist da ebenfalls lila, ihre Vorstufe rosa und es bedarf dazu kaum der Erwähnung, dass im Dunkeln zerquetschte und durch Schaben wieder zusammengehäufelte Retinae nicht anders gefärbt erscheinen, wie unversehrte.

Als eine Eigenthümlichkeit des Purpurs in Lösung sowohl, wie am natürlichen Standorte ist es zu bezeichnen, dass das Violett der Mischung

bei der geringsten und bei der höchsten Concentration oder Schichtendicke am meisten von unserem Auge wahrgenommen wird, während das Roth darin bei mässiger Verdünnung am besten hervortritt; die Stufen sind daher: Purpurviolet, Purpurroth, Carminroth, Rosa, Lila. Purpurreichere oder mit sehr langen Stäbchen (Aal, Eule, Ratte) versehene Retinae neigen am meisten zum Violet, aber es giebt ausserdem noch in der chemischen Natur des präexistenten Farbstoffes begründete Differenzen der Nuancen, welche an die Species gebunden sind, wie aus der ebenfalls besonders zum Violet neigenden Nuance der mit kurzen Cylindern besetzten Netzhaut des Hammels und des Menschen hervorgeht.

Farbenanalyse.[1]

Absorption. Spectroskopische Untersuchung der Netzhaut mittelst der gebräuchlichen Einschaltung des Absorbenten zwischen Spalt und Lichtquelle ist wegen der im Sehfelde des Spectralapparates auftretenden, senkrecht zu den FRAUNHOFER'schen Linien verlaufenden, unregelmässigen Schatten und Streifen ganz unausführbar. Nur der gelöste Sehpurpur lässt sich in dieser Weise verwenden, indem man ihn in das Fig. 2, in natürlicher Grösse dargestellte, aus Glasplatten zusammengekittete Hohlprisma füllt. Dasselbe ist ein Doppelprisma, dessen eine Hälfte den Farbstoff aufnimmt, während die andere zur Vermeidung von Reflexion und Brechung mit farbloser, gleich brechender Flüssigkeit, in diesem Falle mit Galle von gleicher Concentration oder mit ausgebleichter Purpurlösung gefüllt wird. Indem man die Hohlkeile vor dem Spalt des Spectralapparates verschiebt, können successiv Purpurschichten von 1—14 mm Durchmesser vor die Lichtquelle eingeschaltet werden, deren unverändertes Spectrum zur Controle mittelst des ungeschwärzten Theiles der Grundplatte an der Vorrichtung zur Anschauung kommt. Man beobachtet auf diese Weise, mit steigendem Durchmesser der Schicht, Beschattung des Gelbgrün vor E, des Grün, Blau, Blauviolet, Gelb und Violet, während C des Roth nicht, Orange nur sehr unbedeutend gedämpft scheint. Von E bis G ist die Absorption immer leicht zu constatiren, während die Beschattung bei D und der Durchgang von Violett am andern Ende nur ganz vorübergehend zu bemerken sind. Die Ursache hiervon liegt in der ausserordentlich raschen Farbenänderung der Lösung, die deshalb unvermeidlich ist, weil das violette Spectralende nur bei intensivem Tages- oder



Fig. 2.

1 Vgl. W. KÜHNE, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. S. 194 und a. a. O. I. S. 56; sowie A. EWALD und W. KÜHNE, ibid. S. 139—166.

Sonnenlichte zu untersuchen ist, welches fast momentan auf den Purpur im Troge wirkt, selbst wenn das Gefäss ausschliesslich an der Stirnfläche von einem schmalen Strahlenbande aus dem Spalte eines Heliostaten beleuchtet wird. Dafür gewährt das Verfahren den Vortheil die Umwandlung der Farbe während der Wirkung des gemeinen Lichtes unmittelbar spectroskopisch verfolgen zu können. Man sieht dann das Violett sich rasch bedecken, während Orange, Gelb, Gelbgrün, endlich fast das ganze Grün sich aufhellen, so dass das Spectrum wesentlich von *F* an bedeckt bleibt. Endlich wird auch die brechbarere Hälfte frei, indem kurz vor der vollständigen Klärung nur noch ein diffuser Schatten, nahe vor *G* auftaucht; ist dieser auch verschwunden, so ist die Lösung farblos. Fig. 3. *A* und *B* stellen die beiden Anfangsspectra, das des Sehpurpurs und des Sehgelb mit dem Sonnenspectrum dar.

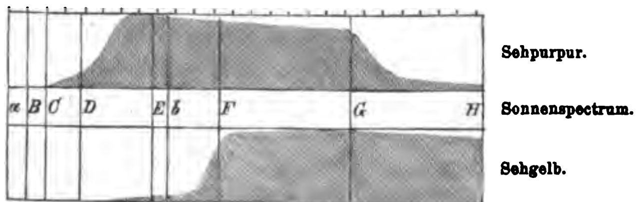


Fig. 3.

Wie man aus den Curven sieht, handelt es sich nur um diffus begrenzte Absorptionen; Absorptionsbänder oder -Streifen entbehren der Purpur und seine farbigen Zersetzungsprodukte durchaus.

Absorption im objectiven Spectrum. Unvergleichlich geeigneter ist das in bekannter Weise, im Dunkelzimmer, mittelst Heliostat, Linse und Prisma objectiv entworfene Spectrum zur genaueren Bestimmung der retinalen Absorption, denn es gewährt dasselbe bei gleicher Deutlichkeit der in den Farben zu beachtenden Verdunklungen den ausserordentlichen Vortheil, wenn es lang genug ist, nirgends Licht von solcher Intensität zu enthalten, dass der Sehpurpur davon zu schnell verändert würde. Ausserdem ist es das einzige Mittel die Netzhaut selbst zu prüfen. Indem man das Spectrum auf einer horizontalen Ebene entwirft und eine dünne Glasplatte hineinschiebt, auf welcher in parallelen Reihen getrennte Tropfen der Purpurlösung von gleicher Grösse mit ebensovielen einzelnen Froschnetzhäuten nebeneinander stehen, überzeugt man sich unmittelbar von der vollkommenen Uebereinstimmung der Absorption in beiden, sowohl beim Anblicke gegen direkt darunter gelegtes weisses Papier, wie durch Be-

achtung der Schatten, welche auf den Farbenstreif des letzteren fallen, wenn man dasselbe etwas entfernter unter die Glasplatte hält, oder bei Betrachtung dieser selbst von der unteren Fläche mit Hülfe eines Spiegels. Die Tropfen sehen im auffallenden, monochromatischen Lichte, soweit Absorption stattfindet, wie neutral graue bis schwarze Tinte, die Netzhäute vom Gelbgrün bis zum Anfange des reinen Violet, wie polirte, schwarze Nägelköpfe, im Violet, Gelb und Orange eigenthümlich graufarbig aus, während im Roth die ersteren von Wassertropfen, die letzteren von vollkommen entfärbten Netzhäuten nicht zu unterscheiden sind. Wird das ganze Object durch kurzes Halten ins weisse Tageslicht bis zum Gelb gebleicht, so ist das Ansehen im Spectrum im Sinne der Curve des Sehgelb (Fig. 2 *B*) verändert. Da die Netzhäute, wie die Tropfen, hinreichende Oberflächenreflexionen haben, sind die sie beleuchtenden Farben unter geeignetem Winkel natürlich auch an den Absorptionsstellen, etwa wie über schwärzliche Gründe gegossen, sichtbar, was die Entscheidung wenigstens im Orange, Gelb und Violet erschweren kann. Einige Neigungen des Kopfes oder Betrachtung mit einem zum Auslöschen des polarisirten Oberflächenlichtes vor dem Auge gedrehten Nicol'schen Prisma, schützen hier leicht vor Täuschung. Netzhäute vom Menschen, dem Kaninchen, Hunde, Rinde, der Eule, entweder in längere Streifen zerschnitten ausgebreitet, oder nach Bedürfniss von einem Ende bis zum andern durch das Spectrum geschoben, zeigen dasselbe Verhalten wie die des Frosches, wenn man den Differenzen der Schichtdicke und der Sättigung ihrer Farbe Rechnung trägt. An der Eulennetzhaut überrascht namentlich das tiefgraue Aussehen im Gelb, das man auch vor der Natronflamme in weit stärkerem Grade, als an der Froschretina, wo es übrigens schon sehr merklich ist, wahrnimmt.

Es bedarf der Bemerkung kaum, dass man durch Vereinigung der vom Sehpurpur nicht oder wenig absorbirten Strahlen des monochromatischen Lichtes mittelst einer zweiten Sammellinse ein Bild von genau der Farbe erhält, mit welcher uns die Netzhaut am weissen Tageslichte erscheint. Dieselbe ist im Wesentlichen eine Mischung von viel Roth und Violet mit sehr wenig Orange, Gelb und grünlichem Gelb, und so wenig von dem letzteren, dass eben bei grosser Verdünnung oder Zumischung von weissem Lichte in unserm Auge kaum mehr Purpur, sondern Weissviolet, also Lila daran zu sehen ist. Das Complementär dieser Farbe ist nahezu schon das des Violet, also noch sehr gelbliches Grün und nicht das des Purpurs, also kein reines Grün. Hiermit stimmt der Ort der Maximalabsorption im Spectrum, der stets vor *E* aber doch auch nicht ganz soweit ge-

gen *D* liegt, wie die gelbere Farbe, die mit reinem Violet gemischt Weiss liefert, überein.

Ein Nachtheil der Untersuchung im objectiven Spectrum liegt nur in der grossen Intensitätsabnahme seines Lichtes vom Grün zum Violet, welche die Absorption im Blau leicht zu gross erscheinen lässt und den Vergleich mit derjenigen in stärker leuchtenden Farben zwar nicht mehr beeinflusst, als bei der gewöhnlichen Methode, aber sich nicht so einfach wie dort durch blosse Dickenänderung der absorbirenden Schicht controliren lässt.

Physiologische Bestimmung der Netzhautfarbe. Mit den Resultaten der monochromatischen Untersuchung stimmt die Wirkung der Netzhautfarbe auf unser Auge überein. Man fixire eine frische Froschretina im gerade ausreichenden Tageslichte, indem man sie plötzlich aufdeckt, und nach etwa 20 Secunden wieder mit weissem Papier zudeckt und man wird ein reingrünes inducirtes Nachbild ohne jede Empfindung von Blaugrün erhalten. Demnach muss das Bild einer frischen Netzhaut mit reinem Grün in unserm Auge gedeckt, weiss oder neutral grau werden, was in der That zu sehen ist, wenn man es mit dem eines von rein grünem arsenigsaurem Kupfer gefärbten Papiers mittelst irgend einer der HELMHOLTZ'schen physiologischen Mischungsmethoden zusammenfallen lässt. Eine Froschnetzhaut im Dunkelzimmer durch ein schwaches Bündel gemischter Lichtstrahlen gerade genügend beleuchtet, nachdem ein objectives Spectrum in ihre nächste Nachbarschaft projicirt worden, wird hellgrau bis weiss gesehen, wenn man von den Spectralfarben Alles bis auf das reine zwischen *E* und *b* befindliche Grün abblendet und den erhaltenen Rest durch einen achromatisirten, doppelbrechenden Kalkspathkrystall blickend, mit der Netzhaut zur Deckung bringt. Wird der Sehpurpur dagegen mit Blaugrün, das reinem Roth complementär ist, physiologisch optisch gemischt, so erhält man statt neutralem Grau oder Weiss entschieden bläuliche Nuancen.

Bringt man endlich die Froschretina mit dem Weiss einer vom Tageslichte erleuchteten reinen Papierfläche zur Deckung, so blasst das Bild, das wir empfinden, zu Rosa ab.

Wie leicht die Resultate dieser Versuche sich ändern, wenn die Retina ein wenig angebleicht worden, wird später beim Sehgelb erörtert.

Aussehen im Partialweiss und in einigen Mischfarben. Bei der ausserordentlichen Veränderlichkeit der Netzhautfarbe, welche das Auge des Beobachtenden fortwährend zur Entscheidung über sehr feine Nuancen anruft, sind diesem alle Mittel willkommen die Absorption verschiedenwelligen Lichtes in der Membran unter möglichst variirten Bedingungen zu prüfen und einigermaassen objectiv werden zu lassen. Sehr geeignet die Unterschiede normalen Sehpurpurs von solchem, dessen Zersetzung soeben begonnen, oder die Differenzen von Purpur und Roth schlagend hervortreten zu lassen, sind Betrachtungen der Netzhaut in Mischungen aus 2 Farben,

welche zu dem Ende aus dem Spectrum durch Abblenden mittelst des HELMHOLTZ'schen Doppelspaltes isolirt und nach den ebenfalls von HELMHOLTZ angegebenen Methoden zu einem Bilde vereinigt werden. Stellen wir so aus zwei Complementären Weiss her, so erscheint die Netzhaut in diesen Partialweissen: 1. aus Roth und Blaugrün, rein dunkelroth, wie Carmin und Zinnober davon belichtet auch aussehen, — 2. aus Gelbgrün und Violet, grauviolet, während Zinnober darin farblos dunkelgrau wird; (hier ist die Froschnetzhaut, wegen der grünen Stäbchen, welche grünliche Nuance der ganzen Fläche aufkommen lassen, unbrauchbar; man nimmt Salamander- oder Kaninchenretinae) — 3. aus Orange und Cyanblau, grauorange, wie mit einem Schleier überzogen, durch welchen um so mehr Orange schimmert, je röther dasselbe aus dem Spectrum genommen, — 4. aus Gelb und Indigoblau, graugelb, ebenfalls wie verschleiert, und zwar um so stärker getrübt, je mehr Gelb in die Lichtmischung einging. Erstaunlich sind die Unterschiede des Aussehens von Netzhäuten und rein rothen Pigmenten in aus spectralem Roth und Violet oder aus Roth und Blau gemischtem Purpur. Während Zinnober in ersterem ganz stumpf grauroth aussieht, scheinen Carmin und die Retina darin wie wässrig glitzernd, kaum von der übrigen beleuchteten Fläche zu unterscheiden und wenn man diese im Umkreise zudeckt, wie flammend, purpurleuchtend; in dem Pseudopurpur aus Roth und Blau bildet die Netzhaut, ebenso wie der Zinnober einen scharf markirten, brandrothen Fleck, der um so heller ist, je weniger blaues Licht zur Mischung verwendet worden.

Farbe der Netzhaut in situ.

Bei der hohen Durchsichtigkeit der Netzhaut und ihrer Stäbchenschicht muss auch die intensivste Farbe der letzteren eine Lackfarbe sein. Vollkommene Lackfarben sind vor gehörig schwarzem Grunde nicht erkennbar; wenn man also im Auge etwas von der Netzhautfarbe erkennen sollte, so ist der Hintergrund entweder nicht dunkel genug, oder der farbige Schleier ist nicht als ein vollkommen lackfarbener anzusehen. Das erstere trifft für die Augen der meisten Menschen und Thiere zu, das zweite unter gewissen Umständen. Im Froschauge ist der Grund so undurchsichtig, dass ausser dem Orte der Papille nirgends Licht durchdringt, nicht einmal so viel, um Erhellung vom Dunkelzimmer aus wahrnehmen zu lassen, wenn der Augengrund den Verschluss am Heliostaten bildet, während mit einer Linse vereinigtes, directes Sonnenlicht auf die Sclera fällt; eine vollkommene Lackfarbe in diesen Grund gegossen ist darin weder von

Wasser, noch von Tinte zu unterscheiden. Wie BOLL richtig angab, erkennt man an der Froschretina in situ aber eine schwache Farbe, anscheinend genügend um allenfalls Unterschiede zwischen vollkommen gebleichten und maximal gefärbten Netzhäuten erkennen zu können. Dies muss von Licht herrühren, welches aus den hinteren Schichten der Netzhaut reflectirt wird, und da man den Schleier der Retina um so deutlicher erkennt, je schräger man darauf sieht, so scheint es sich um Licht zu handeln, das von den convexen Aussenflächen der Stäbchen zerstreut und durch eine Reihe benachbarter Stäbchen schräg durchgegangen ist. Indess überzeugt man sich, dass die Retina schräg angesehen wohl heller und deutlicher wird, aber nicht ihre Farbe; was hier besser gesehen wird ist also wahrscheinlich gar kein Licht, das die Mäntel der Cylinder erreichte, sondern aus den vordereren Retinaschichten reflectirtes. Die Spur wirklicher Färbung von entschieden violetter Nuance, um die es sich handelt, wird vielmehr bei senkrechter Blickrichtung zum Augengrunde wahrgenommen und man kann kaum zweifeln, dass sie von solchem Lichte herrührt, welches an den Oelkugeln und von dem sonstigen glänzenden Inhalte der fuscinfreien Zellkuppen des retinalen Epithels reflectirt wird. Die davor liegenden Stäbchen sind beim Frosche lang genug, um an dem zweimal durch sie gegangenen Lichte, in Folge des Purpurgehaltes bis zur Erkennbarkeit der Restfarbe genügende Absorption zu vollziehen. Dass man in den netzhautfreien Augengrund hineingegossenes, lackfarbenes Blut nicht erkennt, erklärt sich zur Genüge aus der Bedeckung des epithelialen Reflectors mit seinen weichen, zurücksinkenden, fuscinhaltigen Zellfortsätzen.

Im Säugerauge fehlen dem Epithel, mit wenigen Ausnahmen, die Fetttropfen und die ebenfalls glänzenden Myeloïdkörner. Hier kommt aber sowohl das Tapetum wie die Reflexion an der Sclera, welche vom Pigmente der Chorioïdea ungenügend gedeckt wird, in Betracht. Man sieht daher die Netzhautfarbe wenigstens immer so viel angedeutet, dass ein Stück des davon befreiten Grundes nicht nur am Verluste des Glanzes, sondern auch an einer Modification seiner Farbe kenntlich wird, immer der Art, dass das mit dem Purpur beschleierte Braun chocoladefarbener, das andere zimmtähnlicher oder gelblicher, wie um ein Nuance Violet herabgestimmt, erscheint. Der Unterschied ist jedoch so gering, dass eine local ausgebleichte Stelle der Netzhaut, mit ganz scharfen Grenzen, nie in ihrer Gestalt zu definiren, sondern nur als Fleck dem Orte nach zu bestimmen ist, sogar im Augengrunde albinotischer Kaninchen.

Wo ein fuscinfreies Tapetum vorkommt, ist die Netzhautfarbe als

schön rosenfarbener Hauch zu erkennen, falls der glänzende Hintergrund, wie beim Hund und bei der Katze, vorwiegend weiss oder gelblich aussieht, in andern Fällen, wie bei den meisten Pflanzenfressern, zeigt sich dagegen so gut wie nichts vom Sehpurpur, weil der Grund bläulich oder grünlich irisirend durchschimmert. Hätten solche Augen Stäbchen von der Länge der Froschcylinder, so wäre vielleicht mehr Farbe daran zu sehen oder wenigstens locale Ausbleichung schärfer daran zu erkennen, als es selbst beim Hunde und der Katze möglich ist.

Noch ungünstiger sind die Verhältnisse am uneröffneten, lebenden, blutversorgten Auge, denn da bleibt, abgesehen vom Tapetum und von den Lücken in der Choriocapillaris, nur zweimal durch rothes Blut gegangenes Licht als Beleuchtung übrig: zur Erkennung der vorgelegten zarten Purpurschicht gewiss das denkbar schlechteste Mittel. Die Bemühungen der Ophthalmologen den Sehpurpur mit dem Augenspiegel zu sehen[1], sind daher nach der überzeugend begründeten Darstellung von O. Becker[2] als gescheitert zu betrachten und die Differenzen der Leuchtfarbe vor und nach dem Tode, welche Boll der Vergessenheit wieder entriss, indem er sie zum Beweise sowohl des Vorkommens, wie des rapiden cadaverösen Schwindens des Sehpurpurs beim Säugethiere und dem Menschen zu verwenden suchte, als auf die einfach klare Ursache zurückgeführt, welche nur in der Gegenwart oder Abwesenheit des Blutes liegt.

Zum Beweise, dass keiner der zahlreichen Augenärzte, welche die Netzhautfarbe ophthalmoskopisch gesehen zu haben meinten, dieselbe vom Blute unterschieden, wies O. Becker darauf hin, dass ihnen ohne Ausnahme der Anblick des besten Beweisobjectes, das die Natur dem Kaninchenauge an möglichst günstiger Stelle, besonders entwickelt in der Sehleiste verliehen, erkannt habe.

Coccius[3], der sich gleichfalls von der mangelhaften Sichtbarkeit der Farbe der Netzhaut in situ am eröffneten Säugerauge überzeugte, zeigte wie gut dieselbe an Falten oder an schräg gedrückten Stellen des retinalen Ueberzuges zum Vorschein komme, und erklärte dies aus der absorbirenden Wirkung mehrerer abnorm und schräg übereinander gelagerter Stäbchen zu einer die Cylinderlänge an Dicke übertreffenden Schicht. Die Erklärung ist gewiss richtig aber in sofern unvollständig, als noch der ebenfalls neue Umstand hinzukommt,

1 Vgl. u. A. Dietl und Plenck, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. S. 273.
2 O. Becker, Ophthalmoskopische Sichtbarkeit des Sehpurpurs. Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde XV. Beilage. S. 145. 1877.
3 Coccius, Acad. Progr. Leipzig 1877.

dass das einfallende und wieder reflectirte Licht die Stäbchen auch am Mantel treffen kann, was in der geordnet normalen Lage, wenigstens beim Frosche unmöglich ist.

An abgestorbenen, weisslich trüben Netzhäuten ist natürlich das Erkennen der Farbe von vorn, obwohl man die Membran als solche nun besser vor dem Grunde unterscheidet, erschwert, nach dem Abziehen, von der Aussenfläche her erleichtert.

Unter dem Mikroskope ist die Farbe überall in voller Pracht an den Stäbchen zu sehen, wo die Cylinder aufrecht stehen und deren volle Länge als Schichtendurchmesser der Farbe zur Geltung kommt, weniger gut an schrägliegenden, die innerhalb der Mosaik ihrer auf der Basis stehenden Nachbarn sogar complementär grün erscheinen. Einzeln liegende Stäbchen im kürzesten Durchmesser von der Cylinderfläche gesehen, zeigen nur bei grosser Dicke (Frosch, Salamander, Triton) blasse rosa oder lila Färbung. Ausschliesslich bei den Tritonen ist diese Lage die günstigere, vermuthlich weil deren merkwürdigen Uebergangsbildungen von Stäbchen und Zapfen den Purpur in einer Rindenschicht der Aussenglieder führen.

4) Photochemische Zersetzung des Sehpurpurs.

Ans Tageslicht gebracht schlägt die Netzhautfarbe entweder allmählich in rötheren Purpur, reines Roth, Orange, Gelb und Chamois um, ehe sie vollkommen farblos wird, oder sie geht mit einem Schlage durch blasses Lila zur Farblosigkeit über. Je frischer die Netzhaut und je lichtempfindlicher in Folge davon, aus noch zu erörternden Gründen, der Purpur ist, desto mehr ist die letztere Erscheinung ausgeprägt, nirgends wahrscheinlich mehr, als an der lebenswarm dem menschlichen Auge entnommenen Retina. Froschnetzhäute, obwohl in directem Sonnenlichte anscheinend momentan bleichend, lassen fast immer zuvor ein gelbes oder chamoisfarbenes Stadium deutlich aufkommen. Schneller als die Netzhaut wird die Purpurlösung gebleicht und in dieser ist Chamoisfarbe oft kaum kenntlich, während die gelbe nur an directem Sonnenlichte zu übersehen ist. Diese Wirkung des Lichtes ist eine ganz directe und wenn irgend eine Stelle der Netzhaut mit einer undurchsichtigen Decke belegt wird, so findet sich deren Bild als farbiger Rest, scharf gezeichnet in der Stäbchenschicht, nachdem die Umgebung entfärbt worden. Augenscheinlich ist die Wirkung abhängig von der Intensität des Lichtes, langsam verlaufend bei schwacher Beleuchtung; bei zur Erkennung der Zwischenfarben gerade ausreichendem Lichte nimmt sie 15—30 Minuten in Anspruch; vor Gas- und Kerzenlicht kann es selbst eine Stunde dauern, bis die

Netzhaut farblos wird, während die Bleichung durch Magnesium- und electrisches Licht sehr rasch verläuft. Tageslicht ist Nachmittags bei anscheinend gleicher oder etwas grösserer Intensität erheblich weniger wirksam als Morgens oder Mittags. Nachwirkungen als Folge begonnener Bleichung sind niemals zu beobachten, ebensowenig ein anderer Effect, als der der Verdünnung, wenn eine ausgeblichene Purpurlösung zu unbelichteter gefügt wird. Messende Bestimmungen der gesetzlichen Beziehungen zwischen Lichtintensität und Bleichungszeit fehlen noch.

Unter den Bleichungsfarben findet sich das in der Natur zwar recht häufige, aber wenig auf sein Verhältniss zu monochromatischen Farben beachtete Chamois.[1] Dasselbe tritt in der belichteten Retina in vielen Nuancen und mit verschiedener Sättigung auf; bald ist es mehr rosen- oder fleischfarben, bald mehr zimmtähnlich. Ohne Zweifel erhalten wir diese eigenthümlichen Empfindungen von gemischten Eindrücken, in denen sich Violet neben dazu nicht complementärem Gelb geltend macht, am neutralsten, obschon wenig gesättigt, durch Mischung von spectralem Gelb und dem Violet des Spectrums, mehr zum Roth neigend aus Orange und Violet, oder aus Roth, Gelb und Violet. Da Purpur Violet enthält neben Roth, so erzeugt die Zumischung von Gelb auch zum Purpur chamois Nuancen, die um so deutlicher werden und um so besser vom Orange zu unterscheiden sind, je geringer die Sättigung ist. Dies ist der Grund des Auftretens der Chamoisfarbe bei der Bleichung des Sehpurpurs, wo es zugleich die sicherste Bürgschaft für die Anwesenheit kleiner Reste noch vorhandenen, unzersetzten Purpurs in einem Ueberschusse von Sehgelb liefert. Welchen Einfluss die Mitwirkung viel weissen Lichtes auf die Deutlichkeit des Chamois hat, lehrt das Verdünnen einer am Lichte orange gewordenen Sehpurpurlösung, welche dann gleich dazu umschlägt. Das Chamois entsteht aber auch aus Purpur ohne Zusatz von Gelb, wenn die aus spectralem Roth und Violet zusammengesetzte Farbe mit so intensivem weissen Tageslichte beschienen wird, dass uns das darin enthaltene Roth einzeln in Gelb umzuschlagen scheinen würde. Für die Netzhaut trifft dies jedoch nicht zu, da die Sehpurpurlösung mit Wasser verdünnt niemals chamois wird, was nur ein weiteres Zeichen für die starke Wirkung ihres Violet auf unser Auge ist. Höchstens könnten die Rosanuancen, die dem Verdünnungslila vorangehen, in den Verdacht kommen, leichte chamois Schattirung darzustellen. Ganz frische Netzhäute so betrachtet, dass ihr Bild sich in unserem Auge mit einem intensiv weissen deckt, sehen nicht chamois aus; es genügt aber die geringste Anbleichung um das Rosa dahin schlagen zu sehen, zu einer Zeit, wo die gewöhnliche Betrachtung noch keine merkliche Aenderung des Purpurs erkennen lässt.

Im ersten Stadium photochemischer Zersetzung nimmt die Retina nun wirklich die rein rothe Farbe an, die zu so vielen Täuschungen über ihre ursprüngliche Farbe geführt und das Verständ-

---

1 W. Kühne a. a. O. S. 459f.

niss ihrer Veränderung durch Licht bei Manchen ganz verhindert hat. Einigermaassen objectiv überzeugt man sich davon an der schon erwähnten Steigerung der Absorption im violetten Ende des Spectrums, besser und überaus schlagend durch Betrachtung im Purpurlichte aus Spectralfarben und zwar der Art, dass von zwei Netzhäuten, die Niemand ohne solche Hilfsmittel sicher zu unterscheiden vermöchte, sofort zu sagen ist, welche derselben einen Augenblick an gewöhnlichem Lichte gewesen, wenn die andere davor geschützt geblieben: die letztere sieht dann, wie bereits beschrieben, purpurflammend, die erstere stumpf ziegelroth aus, kurz der Unterschied ist, wie der von Carmin und Zinnober in dieser Beleuchtung. Complementär zu solchen Netzhäuten ist nicht Grün, sondern Blaugrün, so dass eine zur Hälfte angebleichte Retina ein doppelfarbiges inducirtes Nachbild liefert und mit reinem Grün in unserm Auge gemischt zur einen Hälfte gelbgrau, zur andern neutralgrau aussieht.

Manche Netzhäute werden am Lichte auffallend spät farblos, indem der Purpur zwar wie gewöhnlich schnell umschlägt, das rothe und orange Stadium aber sehr verlängert wird und das letzte Gelb oft stundenlang zerstreutem, gutem Tageslichte standhält. Tritt die Erscheinung an frischen Netzhäuten auf, so deutet sie auf eine, namentlich bei Fröschen vorkommende, Abnormität, die sich meist schon in der ungewöhnlich wenig purpurnen Farbe der Dunkelretina zu erkennen giebt. Beim Aal und bei der Eule wurde Aehnliches gesehen. Für Leichenaugen findet dies Verhalten später Erklärung.

a) Wirkung des monochromatischen Lichtes.

Kann die Retina sich auch an gedämpftem Lichte, besonders bei gewissen Farben desselben, stunden- und tagelang ungebleicht halten, so giebt es doch kein monochromatisches, sichtbares Licht, das ohne Wirkung auf Sehpurpur wäre. Nur wo unser Auge gar nichts sieht, also im Bereiche der dunklen thermischen Strahlen, erhält sich die Netzhautfarbe unbegrenzt. Ob die Strahlen kürzester Wellenlänge, welche nicht mehr durch Fluorescenz, sondern nur durch chemische Wirkungen kenntlich werden, Sehpurpur vielleicht sehr langsam afficiren, ist noch nicht festgestellt.

Durch rothe Gläser gegangenes, directes Sonnenlicht, das spectroskopisch untersucht nur Roth bis zur Fraunhofer'schen Linie *C* zeigt, bleicht die Froschnetzhaut in zwei Stunden vollkommen, ebenso Natronlicht von grösster Intensität. Bedeutend schneller wirkt das durch Kupferoxydammoniak zu erhaltende, nur aus blauen und violetten Strahlen bestehende, und das durch grüne mit Chromoxyd gefärbte Gläser herzustellende, nur Grün verschiedener Nuancen ent-

haltende Licht; bestenfalls ist die Bleichung dann in 5—10 Minuten vollendet, im blauen bei etwa gleich scheinender Intensität erheblich früher als im grünen.

Zur genaueren Untersuchung dient das objective Spectrum des Sonnenlichtes, welches durch einen hinreichend engen Spalt erhalten, rein genug ist, wenn es die stärkeren FRAUNHOFER'schen Linien scharf zeigt, und in seinen einzelnen Theilen intensiv genug, wenn es die Länge von 15 Ctm. nicht überschreitet. Für rasche Wirkungen nimmt man es so blendend hell und kurz wie möglich. Da in dem durch Brechung erhaltenen Spectrum das blau-violette Ende zum Nachtheile seiner Intensität, im Vergleiche zum rothen bis grünen stark gedehnt ist, sind in manchen Fällen Beugungsspectra zu verwenden, bei denen das rothe Ende die grössere Ausdehnung hat. Man wählt dazu das durch Reflexion des Sonnenlichtes an dem galvanoplastischen, spiegelnden Silberabdrucke eines äusserst feinen NOBERT'schen Glasgitters erhaltene Spectrum erster Ordnung. Um die Interferenzspectra möglichst frei von diffusem, weissen Lichte zu erhalten, was in einigen Fällen besonders nöthig wird, ist die Linse zwischen dem Gitter und dem Projectionsorte und zwar so aufzustellen, dass nur dem Spectrum erster Ordnung angehörige Strahlen auf sie fallen; das kleine Farbenband ist dann von grosser Schärfe. Das Einführen der Netzhäute in das Spectralbild geschieht zweckmässig auf vertical stehenden Platten von Porzellan oder Milchglas, an welche die Membranen leicht in einer Horizontalreihe anzukleben sind. Die Purpurlösung wird in der schon beschriebenen Weise zu einer Tropfenreihe ausgebreitet in horizontal projicirte Spectra geschoben.

In den Einzelfarben des Spectrums tritt die Zersetzung des Sehpurpurs immer in der Reihefolge auf, dass sie im Gelbgrün, am Orte der stärksten Absorption, beginnt und im Grün, Blau, Grüngelb, Gelb, Violet, Orange und Roth in dem Maasse vorschreitet, in welchem die Absorption dort von vornherein am geringsten ist. Zwischen dem Gelbgrün und Gelb sind die zeitlichen Differenzen daher im Allgemeinen bedeutend, zwischen Gelbgrün und Grün bis Blaugrün gering, erheblich zwischen Gelbgrün und Blau, grösser zwischen Gelbgrün, Violet und Orange, am grössten zwischen Gelbgrün und Roth. Hinsichtlich der absoluten Zeit lässt sich bei der Abhängigkeit von der Intensität nur ganz allgemein für bestes Licht geltend angeben, dass starke Aenderung an der Retinafarbe und besonders an Tropfen der Purpurlösung, im Gelbgrün nach unmessbar kurzer Zeit, im Grüngelb bis Indig nach 2—10 Min., im Gelb nach 20 Min., im Violet und Orange nach 30 Min., im Ultraviolet nach 45 Min., im Roth noch etwas später zu beobachten ist. In sehr kurzen Spectren erfolgen die Veränderungen viel schneller, es sind aber die Unterschiede in diesem Falle wegen des nahen Zusammenrückens der Farben schwer anzugeben.

Die frischen und während des Belichtens feucht erhaltenen Netzhäute vom Frosche und Kaninchen zeigen nach der Exposition im Spectrum, vor vollendeter Bleiche, gewisse Differenzen, indem ihre Farbe vom rothen Anfange des Spectrums bis ins Grün hin, mehr zum gelb neigt, von dort bis zum violetten Ende, mehr zum lila. Jedes Licht erzeugt zwar aus dem Sehpurpur, vor der vollständigen Entfärbung, etwas Gelbes, vor dem Sehweiss also Sehgelb, aber die weitere Wirkung auf das Sehgelb ist bei den Einzelfarben nicht dieselbe, wie auf den Purpur. Das Sehgelb wird am schnellsten durch blaues Licht, etwas langsamer durch violettes, noch langsamer durch grünes, viel langsamer durch gelbgrünes, durch gelbes und rothes Licht erst nach ausserordentlich langer Zeit ganz gebleicht. Soll nun die Wirkung monochromatischen Lichtes verschiedener Wellenlängen verglichen werden, so kann dies nicht geschehen durch Bestimmung der Zeit, wann die Ausbleichung vollendet ist, sondern nur indem man von der ersten merklichen Veränderung ausgeht, wobei aber wohl zu beachten ist, dass dieselbe sehr verschiedenartig sein kann, im Anfangstheile des Spectrums bis zur Mitte mehr der Art, dass der Purpur ohne sich sehr aufzuhellen verschiesst, im blauvioletten Endtheile so, dass er abblasst. Dagegen ist der Moment der vollständigen Bleichung für das Sehgelb allein sehr gut festzustellen: man braucht nur eine Netzhautreihe an mässigem Tageslichte bis zur deutlich gelben Nuance verschiessen zu lassen und erst in diesem Zustande ins Spectrum zu bringen, um sich zu überzeugen, dass jetzt der Reihe nach Blau, Violet und Grün am schnellsten Farblosigkeit herstellen. In überraschender Weise stimmt hiernach das Gesetz der zeitlichen Wirkung mit dem der Absorptionsgrösse, sowohl beim Sehpurpur, wie beim Sehgelb überein: das Licht wirkt auf diese beiden Pigmente in dem Maasse kräftiger zersetzend als es stärker von ihnen absorbirt wird.

Dem Gesetze scheinbar widersprechend ist das umgekehrte Verhalten der Netzhaut in blauem und grünem durch Absorption erhaltenem Lichte, so dass gegen das Ueberwiegen der Wirkung des grünen Spectrallichtes der Verdacht entsteht, dasselbe verdanke diesen Vorzug der stärkeren Ausdehnung und Lichtschwäche des blauen Spectralabschnittes. Wir sind zwar ausser Stande die Lichtintensität zweier Spectraltheile mit einander zu vergleichen, da weder die thermische oder die physiologische, bei der Photometrie gewöhnlich verwendete, noch die chemische Wirkung die Mittel dazu bieten, sondern in ihren Resultaten, wie bekannt, einander widersprechen, aber so viel lässt sich behaupten, dass das im Interferenzspectrum auf einen kleineren Raum zusammengedrängte Blau bezüglich des Sehpurpurs immer noch im Nachtheile ist gegen das gedehntere Grün und dass aus dem durch Brechung mittelst eines Flint-

glasprismas erhaltenen Spectrum, durch Diaphragmen ausgeschnittenes und von Sammellinsen zu kleinen Bildern gestaltetes Grün und Blau die genannten Unterschiede noch zeigen, wenn die Bildchen unserem Auge von gleicher Intensität zu sein scheinen. Diesen Thatsachen gegenüber kann nur geschlossen werden, dass wir keine Mittel besitzen einigermaassen monochromatisches Blau und Grün durch Absorption darzustellen ohne vorwiegende Benachtheiligung der Intensität des Grün. Da Kupferoxydammoniak ausser blauem auch violettes Licht durchlässt, könnte dem letzteren die Schuld beigemessen werden, allein es steht auch eine aus dem Blau und Violet des Spectrums hergestellte Mischfarbe bezüglich der Purpurzersetzung dem spectralen Grün nach.

b) Wirkung gemischten Lichtes.

Da das brechbarere Licht im Allgemeinen schneller auf das Sehgelb, das weniger brechbare zu einem grossen Theile am schnellsten auf den Sehpurpur wirkt, so bilden Combinationen beider das beste Mittel die Netzhaut in kürzester Frist total zu entfärben. Dies könnte zu dem Gedanken führen, dass die in unserem Auge die Empfindung des Weiss erzeugenden Mischungen, weil sie natürlich immer Licht verschiedener Brechbarkeit enthalten, auch die dem Netzhautpurpur gefährlichsten seien; man muss von dieser Auffassung aber abstehen, weil unter den Partialweissen aus zwei Complementären mindestens Eines existirt, das kaum besser wirkt als eine der dazu verwendeten Componenten, nämlich das Weiss aus Roth und Blaugrün, welches dem alleinwirkenden Blaugrün so wenig überlegen ist, dass man nicht sagen kann, das Roth verhelfe demselben zu schnellerer oder vollständigerer Wirkung auf die Stäbchen. Werden unter den langwelligen Strahlen jedoch solche verwendet, welche an sich bereits merklicher wirken, also Orange, Gelb und Gelbgrün, der Reihe nach mit Cyanblau, Indig und Violet gemischt, so erhält man allerdings drei Weisse von bedeutend schnellerer und gründlicherer Wirksamkeit als die der Einzelfarben. Offenbar ist es dafür aber gleichgültig, ob die Mischungen uns die Empfindung Weiss erzeugen, da dieselbe beschleunigte und vollkommenere Vernichtung der Netzhautfarbe sogar noch besser zu Stande kommt, wenn man z. B. Grüngelb und Indig zu weisslichem Grün combinirt. Mischungen von Orange oder Gelb mit Violet wirken freilich schwächer als die aus letzterem mit Cyanblau und Indig. Die Einzelfarben jeder Mischung wirken demnach überall so, wie jede für sich und nur insofern mit andern vereinigt besser, als die Totalbleiche des Purpurs in Betracht kommt. Die der Netzhautfarbe gefährlichste Combination bleibt somit die grünweisse aus Cyanblau und Grüngelb.

Bei den zum Beweise dieses Verhaltens vorzunehmenden Beobach-

tungen sind die einzelnen Theile des objectiven Spectrums in sorgfältigster Weise mittelst des HELMHOLTZ'schen [1] Doppelspaltes herauszunehmen und durch dahinter gestellte Convexlinsen zu einem Bilde zu vereinigen, wobei jedoch nicht vergessen werden darf, dass die Bilder, da wo sie sich decken, Summirung der Intensitäten bedingen. Trotz dieses Uebelstandes lässt sich durch sorgfältiges Vergleichen der Bleichungszeiten im Mischbilde und in den Einzelbildern schon eine Ueberzeugung von der Richtigkeit der vorstehenden Sätze gewinnen. Ein scharfer Beweis wurde geliefert, indem wir[2] im Mischbilde, durch schnell wechselnde Diaphragmen jeweils eine der Componenten ausschlossen, so dass die Farbenmischung in der Weise, wie in unserem Auge beim Betrachten rotirender Farbenscheiben erfolgte, und die Zeit der Bleichung im Wechselbilde mit derjenigen in den constant von den beiden Componenten einzeln beleuchteten Flecken verglichen. Ein anderes weniger vollkommenes, aber als besonderer Fall an sich Interesse bietendes Verfahren bestand in dem Umlegen der Netzhäute von einem Platze des Spectrums auf einen andern, und führte zu Resultaten, die mit den vorgenannten durchaus übereinstimmten.

Nach der geschilderten, eigenthümlichen photochemischen Zersetzung des Sehpurpurs unter Bildung eines gelben Zwischenproductes finden die sehr überraschenden, mannigfaltigen Farben angebleichter Netzhäute ihre Erklärung: in der That lassen sich alle diese Nuancen künstlich an der Sehpurpurlösung erzeugen, wenn man derselben eine am Lichte gelb gewordene, in verschiedenen Mengen zusetzt und die Mischungen ausserdem durch Wasserzusatz in verschiedenen Concentrationen herstellt.

5) Chemisches Verhalten des Sehpurpurs.

a) Reactionen.

An genauere analytisch-chemische Untersuchung des Sehpurpurs ist zur Zeit nicht zu denken; die verschwindend geringen Spuren von Eisen, welche die Asche sehr bedeutender Mengen blutfreier, purpurner Kaninchennetzhäute und einiger Froschretinae zeigten, lässt vielleicht auf Fehlen des Eisens in diesem thierischen Pigmente schliessen.

Zur Feststellung des allgemeinen chemischen Verhaltens und der Reactionen des Sehpurpurs dienen: die Netzhaut, die Purpurlösung und das früher erwähnte, aus Neurokeratin und Sehpurpur bestehende Präparat.

So gut die Netzhautfarbe cadaverösen Processen, der Fäulniss und manchen chemischen Einwirkungen widersteht, so leicht veränderlich ist sie durch viele chemische Verbindungen. Verändert und aufgehoben wird sie: durch Kalk- und Barytwasser, Aetzalkali, durch fast alle Säuren,

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 303 u. 304. Taf. IV. Fig. 2.
2 A. EWALD und W. KÜHNE a. a. O. I. S. 205.

Methyl-, Aethyl-, Amylalkohol, Aether, Chloroform, Chloralhydrat, Aceton, Aldehyd, Essigäther, Senföl, Thymol, Bittermandelöl, Terpentinöl, Seifenlösungen, unterchlorigsaure Salze, Chlor, schweflige Säure, Jod, Brom. Ist die Farbe durch diese Mittel geschwunden, so ist sie durch kein anderes wiederherzustellen. Die meisten genannten Reagentien wirken fast momentan, selbst bei grosser Verdünnung, einige, namentlich im verdünnten Zustande, langsam und meist so, dass der Purpur erst, wie im Lichte, durch gelb gehend farblos wird. Zu den letzteren gehören: verdünnte Säuren[1], Chloralhydrat, Chloroform, reiner Aether, Bittermandelöl, Terpentin, für trockene Netzhäute auch absolutes Glycerin; doch geht die Farbe im Glycerin auch nach vielen Wochen nur zu hellem Gelb. In dem gelben Stadium erzeugt zutretendes Licht vollkommene Bleichung.

Für die Wirkung der Säuren (Essigsäure, Salzsäure, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Oxalsäure, Salicylsäure) sind die chemische Beschaffenheit und die Concentration maassgebend. HCl von 5 pCt. erzeugt in 5 Min. Blassgelb, von 0,5 pCt. dasselbe nach 45 Min., von 0,1 pCt. erst nach 15 Stunden, Farblosigkeit nach 24 Stunden. Oxalsäure von 2,5 pCt. färbt die Netzhaut sofort gelb, Essigsäure derselben Concentration nach 24 Stunden erst roth.

Unverändert bleibt die Farbe: in Ammoniak, kohlensaurem Alkali, Chlornatrium jeder Concentration, in Alaun, Cyankalium, schwefligsaurem, unterschwefligsaurem und salpetrigsaurem Alkali, Schwefelammonium, Schwefelwasserstoff, ammoniakalischer, tartrathaltiger Zinnoxydullösung, Eisen- und Zinkvitriol, Eisenchlorid, Bleiacetat, Wasserstoffsuperoxyd, Ozon, Kohlensäure, Kohlenoxyd, Borsäure, Cyanwasserstoff, wasserhaltigem Glycerin, Benzol, Petroläther, Kohlenstoffdi- und tetrachlorid, Schwefelkohlenstoff, in den Fetten und Balsamen, in Oelsäure, Bergamotöl, Santonsäure und Natriumsantonat, in Harnstoff und bei der Trypsinverdauung.

Hieraus geht besonders hervor, dass energische Oxydations- und Reductions-Mittel nichts über die Retinafarbe vermögen. Ein die Auflösung stundenlang aufpeitschender, unerträglicher Ozonstrom ändert den Purpur in kleinster Menge und grosser Verdünnung nicht, weder in alkalischer noch in mit wenig Essigsäure versetzter Lösung. So lange Osmiumsäure und sehr schwach angesäuertes übermangansaures Kalium noch etwas neben der dunklen Färbung, welche diese Mittel auch an gebleichten Stäbchen erzeugen, erkennen lassen, sieht man die Purpurnuance intact.

b) Einfluss der Temperatur.

Froschnetzhäute werden in feuchtem Zustande bei 76° C. augenblicklich gänzlich entfärbt, bei 75° C. nach 1 Min., bei 71° in 5 Min., bei 70° in 8 Min., bei 65° in 30 Min., bei 60° in 1 Stunde, bei 53 und 52° erst nach mehreren Stunden. Bei 51—50° C. scheint der Sehpurpur überhaupt nicht veränderlich; Wasser und Kochsalzlösung bis zu

1 Nach Boll sollte Essigsäure an den Stäbchen eine mit den Chromophanen (vergl. unten) identische gelbe Farbe erzeugen. Arch. f. Anat. u. Physiol. a. a. O. S. 17.

10 pCt. ändern hieran nichts. Sehpurpur vom Frosche in Galle gelöst wird nach mehrstündigem Erwärmen auf 50° C. unverändert gefunden, bei 72° C. momentan entfärbt, bei 70° in 2 Min., bei 60° in 3 Min., bei 63° in 10 Min., bei 54° in 30 Min. hell chamois. Die Zersetzung beginnt hier bei 52° C. und vollendet sich von 63° C. an rascher, als am natürlichen Standorte. Zusätze von Natriumcarbonat oder von NH_3 setzen die Entfärbungstemperatur für die Netzhaut bedeutend, auf etwa 47° C., herab, wobei mit ersterem Zusatze in 3 Stunden, mit letzterem in 1 Stunde totale Entfärbung erfolgt. Sehpurpur in Lösung wird mit 1 pCt. Sodagehalt bei 50° C. in 5 Min. vollkommen entfärbt, mit wenig NH_3 bei etwa 41° C. nach längerer Zeit. Netzhäute in NaCl von 0,5 pCt. mit einem Zusatze von 1 pCt. Essigsäure werden bei 47° C. in 20 Min. gelb.

Vollkommen getrocknete Netzhäute werden bei 100° C. in mehreren Stunden nur tiefgelb und überhaupt erst bei 75° C. verändert, nach 10 Min. roth, nach 1 Stunde orange. Trocken in absolutem Glycerin erweicht bleiben sie bei 65° C. 2—3 Stunden unverändert, während sie bei 75° C. nach 30 Min. darin fast farblos werden. Längere Zeit in gesättigtem NaCl befindliche Retinae zeigen bei 65° C. nach 30 Min. die erste Veränderung und bedürfen 8—10 Min. langes Erwärmen auf 80° C. um ganz weiss zu werden. Die Gegenwart des Wassers hat hiernach bedeutenden Einfluss auf die Entfärbungstemperatur, ein Umstand, der im Zusammenhange mit der grossen Abhängigkeit dieser von der Zeit, sehr zu Vergleichen mit der Coagulation von Albuminen in der Wärme auffordert.

Purpurlösungen aus Kaninchennetzhäuten verhalten sich nicht vollkommen identisch wie die des Frosches; dieselben werden schon bei 62° C. in 2½ Min. entfärbt, während eine mit demselben Gallengehalte von 2½ pCt. aus der Froschretina hergestellte bei 63° nach 5 Min. noch chamois aussieht. Die erstere wird chamois in 4 Min. bei 58° C. Es giebt da also auf chemische Unterschiede des Purpurs in der Thierreihe, wofür sich noch viele andere Gründe finden, deutende Thatsachen.

c) *Einfluss der Temperatur auf die Lichtbleiche.*

Bei — 13° C. zu weisslich rosafarbenem Eise erstarrte Netzhäute werden durch Licht gebleicht, aber erheblich langsamer, als aufgethaute, noch unter 0° befindliche. Von 0° bis + 38°, selbst bis + 40° C. nimmt die Lichtempfindlichkeit des Froschsehpurpurs äusserst wenig zu und es erstreckt sich die kleine, bemerkbare Steigerung vornehmlich auf das erste Stadium der Sehgelbbildung. Von 45° C. an nimmt die Zersetzlichkeit durch Licht bedeutend zu, in noch grösserem, erstaunlichem Maasse mit der Annäherung an die Zersetzungstempe-

ratur oder beim Ueberschreiten dieser. An diffusem, sehr gedämpftem Tageslichte, das eine Purpurlösung von 12° C. in 11 Minuten ausblich wurde eine von 50° C. in ½ Minute farblos. Mit NH_3 versetzte, bei 10° C. in 5 Min. farblos werdende Lösungen wurden bei 40° C. augenblicklich blassgelb, gleich darauf farblos und das Gelbgrün des Spectrums blich eine bei 50° C. gehaltene Froschretina in 7 Min., eine von 12° C. bei gleicher Intensität in 20 Min. aus.

Lässt sich bei dem poikilothermen Frosche der Einfluss unter 38° C. liegender Temperaturen kaum nachweisen, so ist dieser bei den homöothermen Kaninchen innerhalb der Bluttemperaturen sehr bemerklich. Sehpurpurlösung vom Kaninchen ist bei + 35—38° C. bedeutend lichtempfindlicher als bei + 7,5° C. Es blich z. B. die erwärmte Lösung bei gleicher Beleuchtung in 20 Secunden bis zum Hellgelb, in 2½ Min. vollkommen aus, wo die kalte erst nach 2½ Min. hellrosa, nach 3½ Min. farblos wurde. Grössere Lichtempfindlichkeit des Purpurs im lebenden Auge der Warmblüter, als der Poikilothermen ist hiernach vorauszusetzen.

d) Chemische Einflüsse auf die Lichtbleiche.

Von wesentlicher Bedeutung für die Zeit der Bleichung durch Licht ist das Wasser, dessen Entziehung dieselbe, ähnlich wie beim Erhitzen, ausserordentlich verlangsamt, ohne die Entfärbung freilich zu verhindern.

Ohne Einfluss auf die Lichtbleiche ist sowohl der Sauerstoff, wie die Gegenwart stark reducirender Agentien, denn es sind beim gelösten, wie bei dem retinalen Purpur keine zeitlichen Unterschiede der Bleichung zu bemerken, wenn man den Versuch in O, CO, CO_2 und H vornimmt[1], oder in hermetisch verschlossenen Gläsern, von welchen die einen NH_3, die andern dasselbe NH_3 nach Sättigung mit SH_2 enthalten. Auch in abgeschlossener, ammoniakalischer Zinnoxydullösung wird die Netzhautfarbe an gleichem Lichte in gleicher Zeit verändert, wie in reinem NH_3. Demnach giebt es keine Gründe die photochemische Zersetzung der Stäbchenpigmente in Beziehung zu Reductions- oder Oxydationsprocessen zu bringen; die Purpurbleiche dürfte eher auf Zersetzung mit Wasseraustritt beruhen, worauf auch die allmähliche Verfärbung des trockenen Sehpurpurs unter wasserfreiem Glycerin deutet.

Mit Essigsäure von ½ pCt. behandelte Netzhäute zeigen im Lichte, namentlich verglichen mit alkalischen, in NH_3 oder in Soda von 2 pCt. gelegten, grössere Neigung gelb zu werden. Im Spectrum

1 VALENTIN behauptet das Gegentheil ohne genügende Begründung. Vergl. Moleschott's Unters. XII. S. 31.

scheinen 2 Reihen solcher Retinae sich zunächst zwar gleich zu verhalten, wenn man sie aber vor vollendeter Entfärbung an schwachem Tageslichte besieht, so findet man die sauren im Gelbgrün und Grün noch intensiv gelb, während die alkalischen dort schon entfärbt sind und die ersteren im Blau und Violet farblos, wo die alkalischen noch hellchamois oder lila aussehen. Das sieht ganz so aus, wie wenn das Sehgelb, dessen Bildung die Essigsäure ohne Licht einleitet, was bei der hier verwendeten Concentration im Dunkeln nach 24 Stunden aber kaum merklich ist, im kurzwelligen Lichte leichter von der Säure erzeugt werde, während dieselbe seine Zerstörung im weniger brechbaren Lichte verzögert. Kohlensäure scheint solchen Einfluss nicht zu haben.

6) Indolenz und Fixirung der Sehfarbstoffe.

Aus den Augen im Dunkeln gehaltener Leichen entnommene Netzhäute sind zuweilen in überraschend geringem Grade lichtempfindlich; sie werden zwar bald roth, orange, gelb oder chamois, bedürfen aber oft in gutem Lichte vieler Stunden um vollkommen farblos zu werden. Da die Thiere der Schlachthöfe gewöhnlich bis zum Tode in wenig erleuchteten Ställen verweilen und die Augen derselben später bald in dunkle Gefässe und Winkel gelangen, findet man fast die Mehrzahl der Rinds-, Schweins- oder Hammelaugen in diesem Zustande und es ist darum merkwürdig genug, dass man nicht schon lange, wenigstens von der gelben Farbe der Retina Kenntniss hatte. Nachträglich zeigt sich jetzt freilich, dass die Erscheinung schon MELLONI[1] bekannt gewesen, der ausser dem gelben Flecke des menschlichen Auges, noch eine allgemeine nach dem Zusammenlegen der Netzhaut in Falten, besonsonders bemerklich werdende, gelbe Färbung hervorhob, und darauf, im Zusammenhange mit der bekannten kräftigen Wirkung des gelben Lichtes auf unser Auge, eine eigene Theorie des Sehens zu begründen suchte.

Die Indolenz betrifft den Purpur sowohl, wie das Sehgelb, den ersteren jedoch in weit geringerem und niemals bis zu dem Grade, dass nicht directes Sonnenlicht, wenigstens nach mässiger Zeit alle purpurnen bis rothen Nuancen aus der Netzhaut vertriebe. Je länger die Retina, namentlich vom Epithel getrennt, im Dunkeln verweilte um so mehr ist die Erscheinung ausgeprägt, ebenso nach gewissen chemischen Einflüssen und nach dem Trocknen. Da Purpurlösungen sich nicht so verändern und die daraus nach dem Verdunsten bleibende

1 MELLONI, Compt. rend. XIV. S. 823 und Ann. d. Physik LVI. S. 574.

gefärbte Masse nur in geringem Grade indolent wird, scheint es sich um eine Fixirung der Sehfarbstoffe an irgend etwas in den Stäbchen Enthaltenes zu handeln, vielleicht um das Keratin der Hüllen, denn die schon mehrfach erwähnte Mischung des Sehpurpurs mit dem Neurokeratin ist an sich bereits in Folge der längeren, zur Darstellung erforderlichen Zeit indolenter, als die Netzhaut und wird es nach längerer Aufbewahrung im trockenen Zustande in solchem Grade, dass sie, obschon allmählich gelb werdend, selbst in der Sonne nicht ganz mehr zu entfärben ist. Wird eine in Alaun gehärtete Kaninchennetzhaut, deren Horizont, wie bei vielen andern Säugern, durch eine intensive purpurne Sehleiste bezeichnet ist, im Dunkeln getrocknet, länger über SH_2O_4 aufbewahrt, so wandelt sich ihr schönes Rosenroth, auch wenn man sie wieder befeuchtete, an der Sonne allmählich wol in Roth und Orange, nach etwa 30 Minuten in helles Gelb um, aber es ist schwer dieses Gelb durch Licht soweit zu zerstören, dass von der stärker gefärbten Sehleiste nichts mehr kenntlich bliebe.

Mit Essigsäure gelb gewordene Netzhäute verlieren die Farbe am Lichte zwar gänzlich, aber dies kann Stunden und Tage dauern, wenn die mit Wasser wieder gewaschenen Membranen länger im Dunkeln verweilt hatten und die Farbe wird nahezu so echt, wie die der meisten gebräuchlichen Farbstoffe, wenn das Conserviren im trocknen Zustande geschehen ist. Durch Licht fast unverwüstlich scheint auch die gelbe Farbe zu sein, welche purpurne Netzhäute in Sublimat annehmen. Ausser dem Trocknen und Conserviren im Dunkeln befördert Erwärmen die Indolenz. Stirbt die Netzhaut bei den alle cadaverösen Processe befördernden Temperaturen von 30—45° C. ab, so verliert sie regelmässig schneller an Lichtempfindlichkeit, soweit dieselbe an dem gänzlichen Farbenverluste bemessen wird, ein Umstand, der besondere Beachtung verdient, weil viele länger dauernde Bleichungsversuche, wie die im Spectrum namentlich, damit zu kämpfen haben, und weil z. B. das sonderbare Resultat, dass Froschnetzhäute bei 30° C. zuweilen langsamer erblassen, als bei 0° davon bedingt wird.

7) Beziehungen der Stäbchenfluorescenz zum Sehpurpur.

Die von HELMHOLTZ[1] gefundene, von SETSCHENOW[2] weiter untersuchte, weisslichgrüne Fluorescenz der Netzhaut im übervioletten Lichte rührt nur von der Stäbchenschicht her[3] und steht im Zusammenhange mit dem Sehpurpur und dessen Bleichung. Während die bereits

1 HELMHOLTZ, Ann. d. Physik XCIV.
2 SETSCHENOW, Arch. f. Ophthalmologie V. 2.
3 A. EWALD und W. KÜHNE a. a. O. S. 169.

erwähnte weissbläuliche Fluorescenz der vorderen Schichten in allen Augen gleich und unabhängig von der retinalen Phototropie zu sein scheint, wird das HELMHOLTZ'sche Phänomen erst hervorgerufen durch die Zersetzung des Purpurs. Beim Menschen und bei allen Thieren fluorescirt die Stäbchenschicht ungebleicht schwach und mit bläulichem Scheine, bedeutend stärker und grünlich, nachdem sie durch Licht vollkommen entfärbt worden. Stäbchen ohne Purpur, wie die im Umkreise der Ora serrata des Menschen vorkommenden, lassen kaum Fluorescenz erkennen, ebensowenig die purpurfreien Zapfen; die Fovea centralis erscheint in gut conservirten menschlichen Netzhäuten, bei erwiesenem Besatze mit ihren langen Zapfenaussengliedern, im Focus übervioletter Strahlen immer als dunkler Fleck und um so auffallender dunkel, je mehr die Stäbchen der Umgebung zu fluoresciren beginnen. Im Leben des Purpurs durch Licht beraubte Netzhäute fluoresciren an der Rückfläche ebenfalls grünlichweiss, aber sehr schwach.

v. BEZOLD und ENGELHARDT [1] beobachteten mit dem Augenspiegel, der das Bild eines Spectrums auf der Netzhaut entwarf, Erscheinungen an den Blutgefässen, die sie einer Fluorescenz der lebenden Membran in allen Spectralfarben vom Grün bis ins Ultraviolet zuschreiben. Während Blut dieses Licht absorbirt und darin sonst schwarz aussieht, erschien es hier in den retinalen Gefässen rothbraun bis gelbbraun. An isolirten Netzhäuten vom Menschen und vom Ochsen sieht der Gefässbaum in allen Theilen des Spectrums, wo das Blutroth viel Licht absorbirt, beim ersten Hinblicken schwarz aus, später in jeder einzelnen Farbe zwar sehr dunkel, aber wie von der complementären Farbe angelaufen, was auf Contrast beruhen dürfte. Ausser dem Ueberviolet scheint höchstens das Violet etwas Fluorescenz in der Stäbchenschicht zu erregen.

Ob der Sehpurpur an sich fluorescire, ist schwer zu ermitteln, weil die zu seiner Lösung verwendeten Cholate im Ueberviolet lebhaft bläulich aufleuchten. In sehr verdünntem, cholalsaurem Alkali (das weniger fluorescirt) gelöster Purpur erscheint in dem erregenden Lichte aber schwach bläulich, nach der Bleichung durch Licht heller und grünbläulich.

In der Stäbchenschicht nimmt die Fluorescenz am meisten zu, wenn das Sehgelb schwindet, viel weniger, so lange der Purpur erst bis zum Gelb umgewandelt worden. Andrerseits kann eine Netzhaut kaum gelblich geworden sein und vorzugsweise Sehweiss, neben kleinen Resten ungebleichten Purpurs enthalten, wie nach dem Liegen im indigblauen und violetten Theile des Spectrums, und doch bereits kräftig grünlich fluoresciren. Dies deutet auf das Sehweiss, als die

---

1 v. BEZOLD und ENGELHARDT, Sitzungsber. d. bayr. Acad. 1877. 7. Juli und ENGELHARDT, Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde XV. S. 134. 1877.

eigentliche, am stärksten und mit dem grünlichen Scheine fluorescirende Substanz, während es das Sehgelb für schwach oder gar nicht fluorescirend halten lässt.

Im Dunkeln über SH_2O_4 aufbewahrte und trocken, bis zum Gelbwerden besonnte Retinae fluoresciren kaum, verhalten sich aber wie frisch gebleichte, wenn sie befeuchtet, nach langer Besonnung endlich farblos geworden sind. Benetzung mit Chlorzinklösung steigert die Fluorescenz hier, wie an allen entfärbten Stäbchen bedeutend.

Ein Mittel ohne Licht aus Sehpurpur nur Sehgelb, ohne Sehweiss zu erzeugen, scheint im Chlorzink zugleich gegeben, denn es färbt die Netzhaut im Dunkeln gelb und beraubt sie zunächst aller Fluorescenz. Hierauf bis zur Farblosigkeit belichtet, entwickelt die Membran aber die stärkste Fluorescenz, deren sie überhaupt fähig ist. Auch mit Essigsäure im Dunkeln gelb gewordene Retinae sind fast frei von Fluorescenz und nehmen sie nach vollständiger Lichtbleiche an.

Vollständig aufgehoben wird das Vermögen zur Fluorescenz durch Benetzung mit Alkohol oder ätzenden Alkalien. Wird der Alkohol erst angewendet, nachdem die Stäbchen vom Lichte gebleicht worden, so bleibt die Fluorescenz erhalten. Der Alkohol ist daher vielleicht ein Mittel, das einmal fertiges Sehweiss nicht verändert, während er am Purpur, ebenso wie die Alkalien, wahrscheinlich ganz andere mit Entfärbung verbundene Aenderungen erzeugt, als das Licht.

Grüne Stäbchen wurden von Boll in der Froschnetzhaut entdeckt[1], von Ewald und mir ausserdem nur bei den Kröten gefunden und schon bei deren nächsten Verwandten, Salamandern und Tritonen vermisst. Dieselben sind identisch[2] mit den von Schwalbe[3] gefundenen Stäbchen mit kurzen Aussengliedern, deren Innenglied in Gestalt eines langen Fadens weit hinter der M. limitans ext. beginnt und zwischen den vorderen Theilen der purpurnen Cylinder benachbarter Stäbchen verpackt liegt. Der Beweis dafür liegt in der gänzlichen Unsichtbarkeit aller grünen Stäbchen von vorn, wo man nur die optischen Querschnitte jener farblosen Fäden, als kleine Kreise bemerkt, und in dem Fehlen dieses Bildes bei allen Thieren, ausser bei den Fröschen und Kröten. An der Rückfläche der Retina ragen die grünen Stäbchen weiter in das Retinaepithel hinein, als die übrigen. Durch Licht werden sie langsamer gebleicht, als die purpurnen, wie diese jedoch schliesslich vollkommen und direct, d. h. nur so weit das Licht reicht. In ausgeblichenen Netzhäuten sind sie leicht an der geringeren Durchsichtigkeit kenntlich. Ob ihre Färbung von einem Farbstoffe herrühre, ist noch nicht festgestellt.

---

1 Boll a. a. O.
2 W. Kühne a. a. O. II. S. 131 u. 132. Taf. VII.
3 Schwalbe a. a. O.

B) Farbstoffe der Zapfen.

Im vollständigsten Gegensatze zu den Stäbchen sind die Aussenglieder der Zapfen nirgends, weder bei im Dunkeln, noch bei im Hellen, oder in farbigem Lichte gehaltenen Thieren gefärbt. Es ist hier also nur von Farbstoffen der Innenglieder zu handeln. Das Vorkommen dieser Pigmente ist auf die Vögel, Reptilien und einige Fische beschränkt.[1]

Beim Menschen und beim Affen (Macacus cynomolgus) ist die Fovea centralis nach zahlreichen Beobachtungen gut erhaltener Augen im Dunkeln Verstorbener[2] niemals gefärbt. Im Grunde eines frisch eröffneten Auges erkannte Horner[3] die Stelle zwar als kleines, dunkles, kirschfarbenes, sehr vergängliches Fleckchen, aber diese Erscheinung hängt nicht mit Färbungen der nur aus Zapfen gebildeten Stelle, sondern mit deren Dünne und Durchsichtigkeit und mit der Beschaffenheit des Epithels und ihrer weiteren Unterlage zusammen. Wie es scheint ist die Fovea aller menschlichen Augen in situ sichtbar, besonders wenn es gelingt den Glaskörper vollkommen zu entfernen. Je nach der Tiefe der epithelialen und chorioïdalen Färbung erscheint sie mehr minder braun bis braunröthlich, als dunkelster Punkt der ganzen Netzhaut, woran das intensivste Licht garnichts ändert. Hebt man die Netzhaut ab, so verschwindet das dunkle Fleckchen und erscheint jetzt etwa wie ein sehr kleines, durchsichtiges Sagokörnchen, im Centrum des grösseren, jetzt erst kenntlich werdenden, gelben Fleckes vollkommen farblos. Es genügt die Netzhaut an den alten Platz zurücksinken zu lassen, um die Macula lutea wieder schwinden, die Fovea wieder auftreten zu sehen. Damit ist der Beweis geliefert, dass die Fovea in situ nicht sich selbst, sondern ihren epithelialen und chorioïdalen Hintergrund zeigt, den letzteren zuweilen vielleicht vorwiegend, weil die nach Art von Stäbchen in die Epithelzellen, durch deren fuscinhaltige Basis ragenden Foveazapfen die Uvea sehen lassen. Wo die letztere in den Pigmentlücken blutgefüllte Gefässe gegen das Epithel wendet, könnte wohl auch Blutfarbe durch die Fovea schimmern und diese röthlich erscheinen lassen, in welchem Falle auch einiger Wechsel der Foveafarbe durch Verschieben jenes Blutes möglich wäre.

---

1 Nach Leydig (Lehrb. d. Histologie S. 238) kommen auch bei Bombinator igneus gelbe Fettkugeln in den Sehzellen vor.

2 W. Kühne, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. 24. Apr. S. 109 und a. a. O. I. S. 34, 105, 109 und II. S. 69, 89, 378, später bestätigt von Donders (Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde XV. Beilage. S. 156). Da die Macula lutea vorwiegend Zapfen enthält, fand ich auch diese Umgebung der Fovea frei von Sehpurpur, und es schienen selbst die wenigen dort vorkommenden Stäbchen ungefärbt zu sein.

3 Horner, Klin. Monatsbl. f. Augenheilkunde XV. S. 156 f. 1877.

In der Fovea fehlt den Zapfen auch der vordere, gelbe Schirm, welcher nach MAX SCHULTZE in der Macula lutea vor die Sehzellen gelegt ist. Hier ist der demselben angehörigen, gelben Farbe nur beiläufig zu erwähnen, weil dieselbe ausschliesslich die vorderen Netzhautschichten bis zur Zwischenkörnerschicht einnimmt und mit den Sehzellen durchaus nichts zu schaffen hat. Obwohl von manchen Seiten als präexistente Färbung bestritten, weil sie mit dem Augenspiegel und im Grunde frisch eröffneter Augen nicht zu sehen sei, bildet der Farbstoff gleichwohl einen Bestandtheil der lebenden Retina, den man nur deshalb erst an der abgehobenen, oder an der cadaverös getrübten Netzhaut auftreten sieht[1], weil es nicht möglich ist die dünne und vollkommene Lackfarbe vor dunklem Grunde zu bemerken. Das nach Ausdehnung, Intensität und Nuance im menschlichen Auge wechselnde gelbe Pigment verschwindet in einigen Tagen an der Sonne. Man überzeugt sich davon leicht an trocken ausgebreiteten Netzhäuten, deren Macula zur Hälfte vor dem Lichte geschützt worden. Die Besonnung darf nicht zu lange dauern, wenn der Unterschied der dunkel erhaltenen Stelle unter der Bedeckung merklich bleiben soll, da das ganze Präparat mit der Zeit an Luft und Licht gelb wird.

Die Chromophane.

Als Chromophane werden die in den bunten Oelkugeln der Zapfen enthaltenen Pigmente bezeichnet. Nur bei einigen Vögeln (Tauben und Hühnern) sind dieselben bis jetzt näher untersucht, aber es ist kaum zu bezweifeln, dass die bei den Reptilien vorkommenden, intensiv gefärbten Kugeln ähnliche Farbstoffe enthalten. Seit HANNOVER's[2] ersten Beschreibungen sind die an der Grenze des Innen- und Aussengliedes, im ersteren gelegenen Fettkugeln vielfach untersucht und übereinstimmend mit den sehr vollständigen Angaben ihres Entdeckers theils farblos, theils purpurn bis roth, orange bis gelb und grünlichgelb gefunden. Bei einzelnen Vögeln wurden ausserdem blassgrüne, intensiv reingrüne, blass grünlichblaue, selbst blassblaue Kugeln bemerkt. Ausnahmsweise kommen, z. B. in der Taubennetzhaut, auf eine bestimmte Region beschränkt, sehr kleine purpurne Körnchen neben der grösseren rothen Oelkugel durch das ganze Zapfeninnenglied zerstreut vor, was unter gewissen Bedingun-

1 Vgl. SCHMIDT-RIMPLER, Centralbl. f. d. med. Wiss. 9. Juni. 1877. S. 401, enth. zugleich Bestätigung der Beobachtung des Fehlens des Sehpurpurs in den Zapfen der Macula lutea.

2 A. HANNOVER, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1840. S. 320 u. 1843. S. 314.

gen bei verschiedenen Vögeln auch für das grünlichgelbe Pigment zutrifft. Sehr häufig liegen Zapfen mit grösseren rothen und kleineren orange Kugeln paarweise durch mehrere mit farblosen oder grünlichgelben versehene getrennt, hart nebeneinander. Da in der Retina (des Falken nach Schwalbe [1]) auch verschiedenfarbig geschichtete Kugeln vorkommen, wird es begreiflich, dass deren Farben zuweilen Unreinheiten und Uebergänge zeigen.

Dass die Pigmente in Fett gelöst seien, lehrt die schnelle und intensive Bräunung der Kugeln durch OsO_4, die Löslichkeit derselben in Alkohol-Aether, Benzol, Schwefelkohlenstoff, die Resistenz gegen Alkalien und gegen Galle und das Zerfliessen der Kugeln beim Trocknen. Die fettlösenden Mittel entfärben die Netzhäute, indem sie die Farbstoffe mit aufnehmen; solche Lösungen sind meist orangeroth, mit CS_2 hergestellt nach Capranica [2] mehr dunkelroth.

a) Darstellung und Trennung der Chromophane.[3]

Um die einzelnen, sich beim Auflösen unwillkommener Weise mischenden Farbstoffe wieder getrennt zu erhalten, genügt das folgende, zugleich die Scheidung vom Fette bezweckende Verfahren. Die der vorderen Abschnitte und des Glaskörpers beraubten Augen (von 50—300 Tauben oder Hühnern) werden sogleich in absoluten Alkohol geworfen und gesammelt, und zur Vermeidung von Veränderungen, welchen die Pigmente selbst im Dunkeln, wenigstens nach monatelanger Aufbewahrung unterliegen, möglichst bald verarbeitet, indem man den nur wenig Fett und Farbe aufnehmenden Alkohol abgiesst und die Augengründe mit Aether vollkommen erschöpft. Um von dem kostbaren Materiale nichts zu verlieren, wird der Conservirungsalkohol verdampft, der Rückstand mit Aether aufgenommen und dieser zur Hauptmasse gefügt. Das nach dem Verdunsten des Aethers erhaltene, feuerrothe Fett wird hierauf in heissem Alkohol gelöst und darin mit Aetznatron rasch verseift, unter Ersetzung des verdampfenden Alkohols durch siedendes Wasser. Die nach dem Erkalten von der Mutterlauge leicht zu trennende und abzuspülende, harte Seife wird gut getrocknet zuerst mit Petroläther, darauf mit Aether, zuletzt mit Benzol extrahirt, welche Mittel der Reihe nach Chlorophan, Xanthophan und Rhodophan aufnehmen. Von diesen Pigmenten bedürfen die beiden ersteren noch einer Reinigung, da das Chlorophan nicht frei vom zweiten ist, dieses noch etwas vom ersten und Rhodophan enthält. Das fast rein gelbe, rohe Chlorophan wird dazu

1 Schwalbe a. a. O. 2 Capranica a. a. O.
3 W. Kühne und W. C. Ayres, Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut. a. a. O. I. S. 341.

in einer ungenügenden Menge Petroläther wieder gelöst, nach dessen Verdunsten es als grünlichgelbe Masse zurückbleibt. Zur Isolirung des Xanthophans wird der Verdampfungsrückstand des Aethers zunächst mit Petroläther vom anhängenden Chlorophan befreit, darauf in CS_2 gelöst, die tief orangerothe Flüssigkeit von dem ungelöst bleibenden Rhodophan filtrirt, das Filtrat rasch bei mässiger Wärme verdunstet, und wieder in Aether aufgenommen, nach dessen Verjagung das Xanthophan in gelborangen Krusten erhalten wird. Das davon erübrigte Rhodophan wird nach dem Lösen in Benzol mit der Hauptmasse dieses Farbstoffes vereinigt. Ist die Seife vollständig mit Benzol extrahirt, so hat sie alle Farbe verloren. Die gewonnenen Pigmente sind sämmtlich amorph und mit kleinen Mengen der auch im völlig trockenen Zustande in den wasserfreien Lösungsmitteln keineswegs unlöslichen Seifen verunreinigt. Was über die Löslichkeit der Pigmente zu sagen ist, hat deshalb für die reinen Substanzen nur vorläufige Geltung.

Das Chlorophan ist grüngelb, mit gleicher Farbe löslich in Alkohol und in Aether. Die Lösung in CS_2 ist tief orangegelb, liefert aber verdunstet einen helleren Rückstand, der sich in den ersteren Mitteln mit der früheren Farbe wieder auflöst und sich dann optisch nicht verändert zeigt; der CS_2 erzeugt also keine chemische Veränderung des Farbstoffs. Die Lösungen im Hermann'schen Hämoskop vor den von direktem Sonnenlichte beleuchteten Spalt des Spectroskops gebracht, zeigen die durch Fig. 4 *A* und *B* in Curven dargestellten Absorptionen.

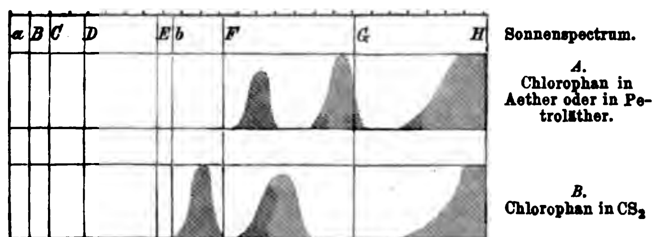


Fig. 4.

Beide Lösungen geben hiernach Verdunkelung im Violet, ohne stärkere Beschattung des Blauviolet und 2 Absorptionsbänder, die sich im CS_2 stark von *G* nach dem rothen Ende verschoben zeigen, so dass der Streif α zwischen *b* und *F* fällt.

Das Xanthophan ist in Petroläther wenig, leicht in Alkohol, in Aether und in CS_2 löslich, in ersteren mit rein orangegelber, in

letzterem mit rothoranger Farbe. Die Lösungen geben die Spectra (Fig. 5 *A* und *B*), also wieder starke Beschattung des Violet, aber nur einen Absorptionsstreifen.

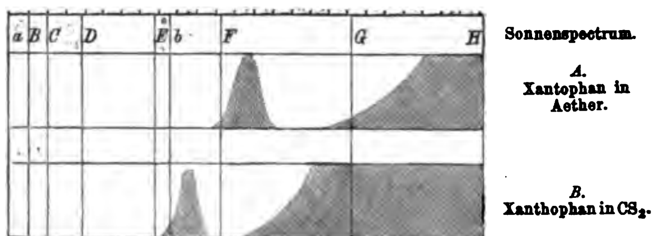


Fig. 5.

Das Rhodophan scheint in Petroläther gar nicht, in Aether kaum löslich zu sein und ist in CS_2 sicher ganz unlöslich, wenn kein Fett zugegen ist. In der mit Seife verunreinigten Masse, als welche es erhalten wird, löst sich das Rhodophan am leichtesten in Terpentinöl und in Alkohol, mit schöner, rosenrother bis tieferer Purpurfarbe, besonders leicht in Alkohol dem einige Tropfen Eisessig zugesetzt worden. Diese Lösungen verschiessen und entfärben sich im Dunkeln nach einigen Stunden. Die Lösung in Benzol ist schön rosa und, wie es scheint, im Dunkeln unbegrenzt haltbar. Wie

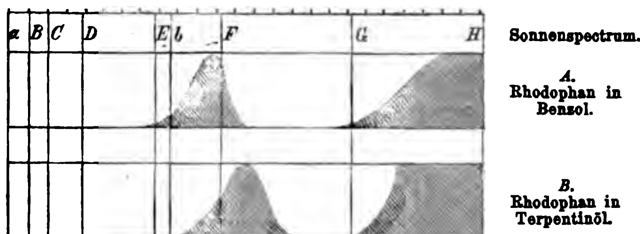


Fig. 6.

die Spectra (Fig. 6 *A B*) zeigen, sind die Lösungen in Benzol und in Terpentinöl nicht nur durch die Sättigung unterschieden.

b) Allgemeines Verhalten der Cromophane.

Da das Darstellungsverfahren dieser Pigmente wegen der nothwendigen Verseifung als ein eingreifendes bezeichnet werden muss, sind Garantien gegen den Verdacht auf Veränderungen der beschriebenen Stoffe als Beweise für ihre Präexistenz zu suchen. Dieselben würden sehr vollkommen sein, wenn die bunten Oelkugeln der Netz-

haut in situ unmittelbarer spectroskopischer Untersuchung zugänglich wären. Darauf schon seit lange gerichtete Bemühungen, über welche gegenwärtig wegen der ungeeigneten Construction der käuflichen Mikrospectroskope nicht hinauszukommen war, haben nur im Allgemeinen constatirt, dass die Kugeln der Vogelretina das brechbarste Licht am meisten absorbiren.[1] Augenblicklich bietet die Betrachtung frischer Netzhäute mit guten, achromatischen Mikroskopen die besten, durch kein farbengeübtes Auge beanstandeten Garantieen für die Uebereinstimmung der isolirten Chromophane mit den natürlich vorkommenden, denn das Aussehen der Oelkugeln bei Tauben und Hühnern entspricht jenen zum Theil vollkommen, besonders in Betreff der grünlichgelben Nuance des Chlorophans und der reinen Orangefarbe des Xantophans. Zeigen einzelne der damit gefärbten Kugeln Abweichungen, so liegen dieselben augenscheinlich in Differenzen der Sättigung. Nur das Rhodophan tritt in der Retina grösstentheils nicht in voller Reinheit auf, da die es enthaltenden Kugeln mehr rubinroth, als purpurn zu nennen sind. Wo das Pigment fein vertheilt in den Zapfeninnengliedern nach vorn verbreitet vorkommt, zeigt es jedoch die Purpurfarbe deutlicher, ebenso zuweilen in den grösseren Kugeln stark belichteter Netzhäute. Das Rhodophan kommt hiernach vermuthlich meist gemischt mit etwas Xantophan in den Oelkugeln vor. Die Präexistenz der Chromophane wird weiter erhärtet durch die von SCHWALBE an den Oelkugeln gefundene Jodreaction, denn dieselbe fällt in dem Grade intensiver aus, je tiefer die Kugeln gefärbt sind, an den gelbgrünen und orangen grünlichblau, an den rothen dunkler, grünlicher und ist von derselben schmutzigeren Nuance besonders in den diffus gefärbten Innengliedern der Taube. Vollkommen das Gleiche ist an den 3 isolirten Chromophanen zu sehen, wo die Reaction am besten nach schwachem Ansäuern mit Essigsäure, durch Mischungen von Jodkalium mit alkoholischer Jodlösung, nur schneller und intensiver als an den Oelkugeln, deren Fett etwas hinderlich ist, erhalten wird.

Nach CAPRANICA[2] färben sich die bunten Oelkugeln der Netzhaut und das daraus extrahirte alle 3 Chromophane in Mischung enthaltende Fett mit concentrirter Salpetersäure und mit Schwefelsäure dunkelgrünblau bis blau. Das Chlorophan und das Xanthophan werden mit Salpetersäure, die salpetrige Säure enthält, blaugrün, mit concentrirter Schwefelsäure dunkelblau, während das Rho-

---

1 TALMA, Onderz. g. i. h. physiol. Lab. t. Utrecht III. II. R. S. 259.
2 CAPRANICA a. a. O.

dophan durch erstere nur sehr langsam blass blaugrün, durch letztere erst schwarzblau, dann dunkelbraun wird.

Die Chromophane besitzen, abgesehen von der Veränderlichkeit im Dunkeln, die sich auch an dem isolirten Chlorophan und Xanthophan geltend macht, einen gewissen Grad von Lichtempfindlichkeit, der zwar nicht entfernt mit dem des Sehpurpurs zu vergleichen ist, aber dem des Lipochrins und Luteïns nahe steht, ohne diesen übrigens zu erreichen. Ausser in alkoholisch-ätherischen und Fettlösungen oder in Benzol macht sich die Lichtempfindlichkeit auch an den wenig Seife enthaltenden, trocknen oder damit durch Galle in wässrige, sehr verdünnte Lösung gebrachten Pigmenten geltend. Im besten Falle werden sehr dünne Schichten des Chlorophans an direktem Sonnenlichte in einigen Stunden farblos, solche des Xanthophans etwa in der 3fachen, des Rhodophans kaum in der 20fachen Zeit. Wie Mays fand, bleichen in CO_2 trocken eingeschlossene Taubennetzhäute nicht oder ungemein langsam im Vergleiche zu in Luft exponirten. Diese Lichtbleiche ist also wie die des Fuscins vom Sauerstoff abhängig und dürfte auf einem Oxydationsprocesse beruhen.

Ozon entfärbt die Chromophane im Dunkeln, das Chlorophan am schnellsten, das Rhodophan sehr langsam.

Anhang: Retinale Farbstoffe der Wirbellosen.

Im Auge der Wirbellosen sind Pigmente so häufig und bei den niederen Formen so charakteristisch, dass farbige Anhäufungen an lichtzugänglichen Stellen gern für Augen unvollkommenster Entwicklung genommen werden, wo nur irgend Andeutungen von Sehvermögen vorliegen.

Bekannt und leicht zu untersuchen sind die grossen purpurn bis violet gefärbten Sehstäbe von Astacus fluviatilis. Dass diese Farbe nicht von Sehpurpur herrühre erhellt schon aus dem Umstande, dass man sie ohne allen Lichtschutz stundenlang untersuchen kann und aus der Constanz ihres Vorkommens sowohl bei dunkel gehaltenen, wie bei lange besonnten oder in der Sonne abgestorbenen Krebsen. In dünnem Salzwasser zerlegte Krebsaugen verlieren die Stäbchenfarbe bei 47° C. im Dunkeln, aber auch bei mittlerer Temperatur nach dem Zugiessen gesättigter NaCl-Lösung. Der violette Farbstoff ist in Galle löslich und geht sammt dem den Stäben anhaftenden, schwarzen Pigmente durch das Filter. Hat sich das ungelöste Pigment nach einigen Stunden abgesetzt, so findet man darüber stehend eine schön violette, klare Flüssigkeit, welche ihre Farbe erst nach vieltägiger intensivster Besonnung verliert, ohne zuvor gelb zu werden.

Unter den Sehstäben der Insecten sind nur die von Locusta viridissima im hier interessirenden Sinne berücksichtigt, von denen Chatin[1]

1 Chatin, Compt. rend. XXV. p. 447.

irrthümlich angegeben hatte, dass sie der Retinafarbe des Frosches vergleichbar empfindliche Färbung besässen; dieselbe ist in Wahrheit nicht weniger indolent, als die der Krebse.[1]

Die vor allen späteren Erfahrungen bei den Cephalopoden von Krohn entdeckte Rosenfarbe der Stäbchen ist nach Krukenberg's[2] Untersuchungen entweder gar nicht oder in äusserst geringem Grade durch Licht veränderlich. Lebende Exemplare von Loligo und von Sepia, 1—2 Stunden mit dem Auge gegen die Mittagssonne gerichtet, zeigten die Stäbchenfarbe so gut, wie die im Dunkeln gehaltenen, und es wich dieselbe auch im herausgenommenen und abgestorbenen Auge der Sonne nicht. Doch schien Krukenberg die Farbe nicht ganz constant, da im Lichte abgestorbene Sepiolae sie zuweilen zeigten, zuweilen nicht. Rosa Netzhäute von Sepiola behielten die Farbe längere Zeit in NaCl von 2—30 pCt., in Natriumphosphat und -sulphat, und in Benzol. NH_3 löste den Farbstoff unverändert, während derselbe durch Alkohol, Glycerin und Chlorbarium, HCl von 2 p. m., Essigsäure von 5 pCt., Oxalsäure von 4 pCt., Kupfersulphat und Sublimat zerstört wurde. Durch Galle ist das Stäbchenrosa in NaCl gelegener Cephalopodenaugen nicht extrahirbar.

Die schwarzen und rothen Pigmente im Fliegenauge werden durch wochenlanges Besonnen deutlich gebleicht. Das tief schwarzviolette Pigment des Auges von Helix pomatia verliert unter derselben Bedingung die violette Beimischung. Dagegen zeigt das zwischen den Sehstäben des Hummers befindliche, schwarzviolette Pigment, auch in dünnster Schicht ausgemalt, nach sommerlangem Belichten nicht die geringsten Unterschiede zwischen bedeckt und unbedeckt gehaltenen Stellen.

ZWEITES CAPITEL.

Veränderungen der Netzhaut beim Sehen.

Wie fein unser bewusstes Empfinden Erregungsvorgänge der Sinnesorgane zu erkennen und ermessen gestattet, so bleibt doch alle in dieser subjectiven Weise geführte Untersuchung der Empfindung unvollständig und einseitig bis zu dem Augenblicke, wo dieselbe mit der Feststellung objectiv erkennbarer Vorgänge an dem erregten Organe zu verbinden ist. Beim Hörsinne wurden bekanntlich zuerst durch die auf Töne erfolgenden, sichtbaren Vibrationen feiner Härchen am Gehörorgane von Mysis objective Zeichen des Beginnes der Empfindung von V. Hensen[3] entdeckt, beim Sehsinne durch die von Holm-

1 W. Kühne a. a. O. I.
2 C. Fr. W. Krukenberg, Unters. aus dem physiol. Instit. z. Heidelberg II. S. 58.
3 V. Hensen, Ztschr. f. wissensch. Zool. XIII. S. 319.

gren[1] nachgewiesenen Aenderungen des electromotorischen Verhaltens der Netzhaut im eröffneten und halbirten Auge unter dem Einflusse mässigen Lichtes. Ist an dem Zusammenhange der Retinaströme mit dem Sehepithel noch zu zweifeln, bevor nicht deren vielleicht ausschliessliche Beziehung zur grauen Substanz der Netzhaut, also zum Leitapparate des peripheren Sehorganes klar gestellt worden, so liefert die schon genannte wichtige Entdeckung Boll's[2], dass die Netzhaut im intensiv belichteten Auge des lebenden Frosches blasser, im länger geblendeten farblos wird, eine Thatsache objectiver Natur, welche während des Sehens entstandene Veränderungen in den Sehzellen bezeugt.

Seit den im vor. Cap. gegebenen Beweisen der ausschliesslichen Abhängigkeit der Purpurbleiche an der isolirten Netzhaut vom Lichte, kann an ein grundsätzlich anderes Verhalten des Sehpurpurs im lebenden Auge um so weniger gedacht werden, als wir denselben hier ebenfalls durch kein anderes Mittel vertreiben können, wie durch das Licht. Namentlich sind alle mechanischen und electrischen Wirkungen, die bekanntlich starke Netzhauterregung mit lebhafter Lichtempfindung erzeugen, am Auge lebender Thiere ohne jeden Einfluss auf dessen Purpur: wenn wir die Farbe gebleicht finden, so ist nur auf das Licht, als die primäre Ursache, nicht auf irgend welchen vom Lichte zuvor erzeugten, nervösen Erregungsvorgang, in dessen Folge der Purpur bleiche, zu schliessen. Die freilich sehr bedeutenden, vornehmlich am lebenden Froschauge, im Gange der Lichtbleiche bemerklichen Abweichungen von dem bisher für die isolirte, überlebende oder abgestorbene Netzhaut berichteten Verlaufe, bedürfen deshalb noch einer besonderen Erklärung; dieselbe folgt im II. Abschnitte dieses Capitels.

I. Photochemische Zersetzungen in der sehenden Netzhaut.

1. Verhalten der Stäbchen.

Um trotz der Präparation vor Natronlicht farblose Netzhäute zu finden, genügt es dieselben dem Auge eines 10—15 Minuten gegen die unbedeckte Sonne gehaltenen Frosches oder eines mit erweiterten Pupillen, einige Zeit mit freier Umschau am ungehinderten Tageslichte verweilenden Kaninchens zu entnehmen. Diffuses gutes Tageslicht pflegt im Freien lebende Frösche etwa in 30 Minuten des Purpurs

1 Holmgren a. a. O.
2 Boll, Monatsber. d. Berliner Acad. und Acad. d. Lincei — a. a. O.

zu berauben, in geschlossenen Räumen viel langsamer, oder gar nicht, wie z. B. in unsern Breiten zur Zeit der winterlichen Sonnenhöhe, bei einer sonst für alle gewöhnlichen Beobachtungen ausreichenden Helligkeit; die Netzhaut wird dann höchstens reinroth, chamois oder gelb gefunden.

Optographie. Die Retina wird im lebenden oder im abgestorbenen Auge in situ erhalten, ganz wie die isolirte, nur soweit gegebleicht, als das Licht sie trifft und mit so vollkommener Begrenzung der Wirkung, dass die von den brechenden Medien auf dem Augengrunde entworfenen Bilder, wenn sie scharf sind, auch scharfe helle bis farblose Zeichnungen in der purpurnen Fläche der Stäbchenschicht, also Photographieen oder Optogramme hinterlassen. Diese schönen und messbaren graphischen Darstellungen des gesehenen Lichtes liefern den vollkommensten Beweis für dessen directe und locale Wirkung auf den Purpur, welche jeden Gedanken an etwaiges Schwinden des Farbstoffes durch allgemeinere Effecte, wie Resorption und dergl. fern hält und gewähren zugleich das beste, meist unentbehrliche Mittel, um über die wichtigsten Einzelheiten des photochemischen Processes zu entscheiden. An einigermaassen frischen, ausgeschnittenen Kaninchen- oder Rindsaugen erhält man die Bilder leicht durch Exponiren auf dem Grunde eines cylindrischen, innen geschwärzten Kastens von 50 Ctm. Durchmesser und 25 Ctm. Höhe, der mit einer matten Glastafel bedeckt ist, auf welcher 4—5 Ctm. breite und ebensoweit von einander entfernte Streifen schwarzen Papiers das Object bilden. Die Belichtung geschieht am freien Himmel, oder unter einem guten Oberlichte, je nach der Helligkeit während 2—7 Minuten, worauf die Netzhaut, vor Natronlicht, entweder sogleich unter Salzwasser, oder nach 24 stündigem Liegen des halbirten Auges in Alaun von 4 pCt. abgehoben und flottirend oder nach dem Abtrocknen auf die glasirte, convexe Seite eines Porzellanschälchens gespannt am Tageslichte betrachtet wird. Weniger sicher aber zu manchen Zwecken genügend erhält man Optogramme, indem man das Auge einfach unter ein Oberlicht mit breiten Rahmen, oder schräg gegen den Himmel gerichtet, in Entfernung von 1—2 Metern einem beliebigen Fenster mit breiten Pfosten, zugewendet aufgestellt, plötzlich enthüllt und später wieder verdeckt.

Optographische Methode. Zur Gewinnung im Leben entstandener Optogramme empfiehlt sich ein fensterloses Zimmer, das nur mit einem Oberlichte versehen ist, welches in Gestalt eines Lichtschachtes bis auf etwa 30 Ctm. gegen den Arbeitstisch hinabragt und unten durch eine matte Glastafel geschlossen ist. Einige Rahmen

und Falze gestatten hier Scheiben mit schwarzen Figuren, nach Bedürfniss farbige Gläser und eine Holzplatte zum raschen Enthüllen und Verdecken des Objectes einzuschieben. Die zweckmässigen Maasse

C. A. B.

Fig. 7. *A* Netzhaut eines im Dunkeln gehaltenen Kaninchens. *a* die ausgebohrte Papille, *b b* weisser Streif markhaltiger Nervenfasern mit schwach angedeuteten Blutgefässen, darunter die am intensivsten purpurn gefärbte Sehleiste. — *B C* Kaninchennetzhäute mit Optogrammen, in *B* von einem Fenster, dessen unterste Scheibenreihe verdunkelt werden, *C* von einem 4 Meter entfernten Oberlichte. — An Präparaten, die auf Porzellanschälchen aufgetrocknet worden (vergl. Fig. 8), ist der weisse Streif kaum zu erkennen, weil die Netzhaut hinter demselben mit einer continuirlichen Schicht purpurner Stäbchen bedeckt ist.

der Einrichtung sind: obere Oeffnung des Lichtschachtes auf dem Dache, mit schräg nach Süden gerichteter klarer Glasscheibe, 65 Ctm. breit, 88 Ctm. lang, Höhe des Schachtes = 280 Ctm., untere Oeffnung von 45 und 55 Ctm. Seite, mit 5 hellen und 4 undurchsichtigen Streifen von je 5 Ctm. Breite. Der Lichtschacht ist innen weiss, der Arbeitsraum überall matt schwarz gestrichen und nur von Natronflammen erhellt. Unter dem Mittelpunkte des Objectes befindet sich eine Marke auf dem Arbeitstisch, nach welcher Kopf und Auge des Thieres zu orientiren sind. Kaninchen sind zu den Versuchen am bequemsten. Man befestigt sie in bekannter Weise und fixirt das Auge, dessen Corneascheitel 25 Ctm. unter dem Mittelpunkte des Objectes stehen soll, wenn ohne Curare und künstliche Respiration, die oft entbehrlich sind, gearbeitet wird, durch 2 in die Conjunctiva und durch einen in das knorpelige Lid gelegte Fäden, die an passenden Vorsprüngen des Kopfhalters befestigt werden. Wo die Fäden nicht zur Verwendung kommen, ist das Auge durch einen Lidhalter zu öffnen. Je nach der Lichtintensität (nur directes Sonnenlicht ist ausgeschlossen) und nach der Pupillenweite, welche in den meisten Fällen, auch zur Vermeidung accommodativer Aenderungen, mit Atropin maximal gemacht wird, genügen 10 Secunden bis 7 Minuten zur Erzeugung des Bildes. (v. Fig. 8.) Nach beendigter Aufnahme wird das Thier geköpft und das Auge der schon mitgetheilten Alaunbehandlung unterworfen. Um die Bilder länger zu conserviren, hält man sie etwa 8 Tage im Dunkeln trocken, worauf die Färbung des entstehenden Sehgelb



Fig. 8. Optogramm auf der Netzhaut des Kaninchens von einer mit schwarzen Streifen belegten matten Glasscheibe.

wenigstens, bald so echt wird, dass sie kaum mehr am Lichte verschwindet.

Optographie am Frosche. Wegen der geringeren Kostspieligkeit des Materials und wegen mancher nur an Thieren mit grossen Stäbchen zu entscheidenden Fragen ist es nöthig locale Ausbleichungen auch am Froschauge vornehmen zu können. Besondere Schwierigkeiten liegen hier in den geringen Vortheilen, welche die Alaunhärtung erzielt, in der erforderlichen langen Belichtung und in der durch die Belichtung erschwerten Entfernung des Pigmentepithels von der Stäbchenschicht. Wie gross der letztere Uebelstand sei, erhellt schon aus Boll's erster Angabe, dass die Netzhaut aus belichteten Froschaugen in Folge einer Consistenzveränderung überhaupt nur in schwarzen Fetzen herauszubekommen sei[1]; es war daher vor Ueberwindung dieser Klippe ganz unmöglich die localisirte Lichtwirkung an diesem Objecte nachzuweisen.

Durch folgende Mittel wird den genannten Missständen begegnet; 1. um die Netzhaut unzerrissen hervorzubringen genügt Abschneiden der Verwachsung des Opticus mit der Sclera, wie es seit der Feststellung des Verhaltens der isolirten Retina gegen Licht jetzt allgemein geübt wird. Die am Aequator, im halbirten Auge gefasste Retina lässt sich dann immer, sei es mit oder ohne Epithel, unbeschädigt herausziehen, da sie auch durch Belichtung keineswegs erweicht. 2. um das Haften des schwarzen, natürlich jedes Bild verdeckenden Epithels, an der belichteten Stelle zu vermeiden, wird entweder das Bild so klein gemacht, dass die Epithelzellen hier noch im Zusammhange mit der ganzen übrigen nicht haftenden Epitheldecke im Bulbus zurückbleiben, oder es werden Mittel angewendet, welche das Haften nicht aufkommen lassen. Zum ersteren genügt Kleinheit oder grosse Entfernung des gesehenen Objectes, indem man als solches z. B. eine Gasflamme oder ein gut beleuchtetes Quadrat aus mattem Glase von etwa 3 Ctm. Seite und 40 Ctm. Entfernung verwendet, zum zweiten sehr langsame Bleichung in 1—2 Stunden bei schwachem Lichte, oder als das beste aller Mittel, das, wenn nicht gerade rothe Beleuchtung verwendet wird, immer anschlägt, nämlich Erzeugung von Oedem, indem man die ohnehin zu curaresirenden Frösche zuvor längere Zeit in Wasser legt, was die Trennbarkeit des Epithels von den Stäbchen ausgezeichnet befördert. Ist das Oedem gut entwickelt, so genügt es in dieser Beziehung selbst für directes Sonnenlicht, so dass man versucht wird zu glauben, es könne zur Erzielung

1 Vgl. Boll, Monatsbl. d. Berliner Acad. 1878. 11. Jan.

von Optogrammen innerhalb der beim Frosche kurz zu nennenden Zeit von 10 Minuten dienen. Leider ist dies nicht der Fall, denn wenn man einen solchen Frosch in einem übrigens verdunkelten Zimmer, in welches durch den fast geschlossenen Laden nur ein verhältnissmässig schmaler Lichtstreif fällt, gegen die Sonne wendet und das Thier auch möglichst constant in dem mit der Erde bewegten Lichtstreif liegend erhält, so ist die Ausbleichung immer eine äusserst diffuse, die keinen Schluss auf locale Wirkung des Lichtes in der lebenden Netzhaut zulässt. Im Allgemeinen ist daher beim Frosche die Regel festzuhalten, viel Zeit an den Versuch zu wenden und mit gedämpftem Lichte zu arbeiten. Der Erfolg ist dann ein vortrefflicher.

Bei den Optogrammen des Froschauges giebt es eine beachtenswerthe Quelle von Täuschungen darin, dass oft weisse, scharf begrenzte Stellen in der Netzhaut nicht durch Bleichung, sondern durch Ausreissen und Zurückbleiben der farbigen Stäbchen am Epithel des Augengrundes entstehen. Man erkennt solche Pseudooptogramme ohne Mühe mikroskopisch, an dem ausschliesslichen Vorkommen der Zapfen innerhalb der farblosen Stellen, während die echten Optogramme dort überall regelmässigen Besatz mit farblosen Stäbchen zeigen, unter denen auch keine grüne vorkommen, was beiläufig auch für diese den localen Einfluss des Lichtes beweist. Gute Optogramme sind oft so scharf, dass die Figuren noch bei 100facher Vergrösserung kaum diffus berandet erscheinen. Bei der Säugernetzhaut giebt die mikroskopische Untersuchung einiger mit der Flachscheere, von der Rückfläche der weissen Stellen entnommener Stücke, auch an Alaunpräparaten vollkommen Sicherheit, dass der dichte Stäbchenrasen überall erhalten ist.

Die Optogramme. Die vorerwähnten Objecte von 5 Ctm. Breite liefern im Kaninchenauge bei 25 Ctm. Entfernung scharfe Bildstreifen von 1,5 mm., im Froschauge bei 15 Ctm. Abstand im Centrum der Retina solche von etwa 0,6 mm. Breite. War richtig exponirt, so ist die Breite der hellen Streifen gleich der der dunklen, nach Ueberexposition diese kleiner als jene, so dass die dunklen zuletzt kaum mehr bemerkbare, ganz schmale, verwaschene gelbe Linien darstellen. Deshalb eignet sich das genannte Streifenobject zur Optographie besser, als viele andere und verdient namentlich den Vorzug vor Schachbrettmustern, deren Bilder zwar zu erhalten, aber nach falscher Exposition oft schwer zu finden sind.

Da die Kaninchennetzhaut eine Sehleiste besitzt, welche entweder in den Stäbchen concentrirteren Purpur oder längere Stäbchen besitzt, deren Ausbleichung mehr Zeit oder intensiveres Licht als die Umgebung erfordert, so lässt sich hier der Gang des photochemischen Processes besonders gut beurtheilen, indem man die Unterschiede der Bilder auf und neben der Leiste beachtet. Dieses Vor-

theiles wegen empfiehlt es sich das Optogramm stets so anzufertigen, dass die Bildstreifen die Sehleiste kreuzen, das Streifenobject also senkrecht zum Netzhauthorizonte einzustellen. Ausserdem ist es gut die Kopfaxe so zu drehen, dass der grössere Theil des Bildes auf die unter dem Horizonte der Netzhaut befindliche, homogenere und besser als die obere, überdies mit dem Balken markhaltiger Nerven versehene, gefärbte Fläche fällt.

In der lebenden Netzhaut geht die Verfärbung des Sehpurpurs durch ähnliche Stufen, wie an der isolirten Membran oder an der Purpurlösung: sie wird reinroth, ziegelroth, orange, rosa, chamois, gelb, bevor sie ganz farblos wird. Die erste Spur des Optogramms ist daher eine diffuse, nur an der Richtung der Streifen kenntliche, rothe Zeichnung auf purpurnem Grunde; ganz im Anfange, bei bestem Lichte, schon nach Exposition von 5 Secunden, ist nur ein Streif im Centrum so angedeutet, während nach 10 Secunden bereits mehrere erscheinen. Auf der Sehleiste sind diese Bilder noch nicht bemerkbar. Ist das Bild orange, so zeigt die Sehleiste entsprechend reinrothe Flecke, ist es rosa, so beginnen orange gezeichnete Stellen auf der Leiste u. s. w.; es ist also die Leiste immer etwa um eine Stufe neben der Fläche im Rückstande. Scharf wird die Zeichnung erst beim Uebergange von orange zu rosa, dann aber oft schon so, als ob die Grenzen mit dem Lineal gezogen wären. Die Lichtwirkung ist im Kaninchenauge so localisirt, dass ein Bild mit völlig farblosen Streifen, nicht rothe oder orange, sondern purpurne Zwischenbänder zeigt, wenn richtig exponirt worden. Reinrothe, statt purpurner Streifen, neben farblosen zeigen also den ersten Grad der Ueberexposition an, der endlich auf der Fläche schon zu finden ist, wenn die Exposition für die Leiste gerade richtig gewesen. Die weiteren Uebergänge von der Ueberexposition bis zur vollkommenen Verwischung des Bildes bedürfen keiner Erörterung; je nach der Lichtintensität und Pupillenweite erscheinen solche Bilder von der 45. bis 120. Secunde der Expositionszeit an.

Da die letzte Farbenspur auf der Kaninchennetzhaut in den am Tageslichte erzeugten Optogrammen stets gelb ist, kann man auch für das lebende Auge, in welchem die Sehfarbstoffe kaum in ein indolentes Stadium treten dürften, nicht zweifeln, dass das Sehgelb etwas weniger lichtempfindlich ist, als der Sehpurpur.

Wirkung des farbigen Lichtes auf die lebende Netzhaut.

Nach den ersten von Boll an lebenden Fröschen vorgenommenen farbigen Belichtungen sollte kein monochromatisches Licht die

Retina völlig entfärben, ein Theil sie wenig, ein anderer sie stark verändern, jedes sie in charakteristischer Weise verfärben und nur das weisse Licht sie vollkommen bleichen.[1] Seit aber erwiesen worden, dass die isolirte Netzhaut nicht durch Absterben, sondern durch Licht und auch durch farbiges vollkommen bleicht[2], wurde von BOLL das letztere wenigstens für grünes, blaues und violettes Licht auch dem lebenden Auge zugestanden und nur für die Vorstadien der Entfärbung, charakteristische, namentlich nach Verwendung des brechbareren Lichtes, an dessen Farben erinnernde Nuancirung behauptet. Das blaue Licht sollte, gleichviel ob durch Absorption oder durch Brechung im Spectrum erhalten, das wirksamste sein, also das grüne unter allen Umständen an Einfluss übertreffen, gelbes und rothes allein keine Entfärbung erzeugen, indem das gelbe die Eigenfarbe der Netzhaut erhalte, das rothe die seitdem von BOLL im Dunkelauge für reinroth genommene Normalfarbe, zu bräunlichem Purpur vertiefe.[3]

Beleuchtungsmittel. Da farbiges Licht nicht von derselben Intensität, wie weisses gemischtes Tages- oder Sonnenlicht zu haben ist, so bedarf das Auge hier bis zur erkennbaren Veränderung der Netzhaut, vollends bis zur Bleichung, bedeutend längerer Exposition, als in den bisher genannten Fällen. Ohne directes Sonnenlicht, dessen es zur Darstellung objectiver Spectra ohnehin bedarf, sind derartige zum grossen Theile mit Absorptionsfarben vorzunehmende Versuche kaum anzustellen. Für den Zweck genügend reine Absorptionsfarben werden durch farbige Gläser oder durch Flüssigkeiten erhalten, Roth mittelst des gewöhnlichen durch Kupferoxydul gefärbten Glases oder durch Lösungen von Pikrinsäure mit Carminsäure, auch durch passend verdünntes Blut, Grün durch mit Chromoxyd gefärbtes Glas, oder mittelst hintereinander folgender Schichten von Kupfervitriol und Pikrinsäure, Blau und Violet durch Kupferoxydammoniak. Blaue Gläser, die nicht bedeutende Mengen Roth durchliessen, sind nicht käuflich, ebensowenig gelbe, die anderes Licht gehörig ausschlössen. Durch Absorption sind also nur Roth und Grün brauchbar zu erhalten, Blau nur gemischt mit Violet und ausschliesslich durch Flüssigkeiten. Für das Gelb bleibt die Natronflamme, deren Intensität, wenn sie ausser den gelben D-Linien kein diffuses Spectrum geben soll, freilich zu wünschen lässt, übrig. Vor dem Gebrauche sind die Absorptionsfarben auf ihre Reinheit zu prüfen, indem man das maximale im Laufe des Versuches mögliche Licht, meist directes Sonnenlicht, nach seinem Durchgange durch die Absorbenten spectroskopisch prüft. Bei den Spectralfarben erwächst aus der theilweise geringen Intensität, wenn ihr Licht einigermaassen monochromatisch sein soll, eine besondere Schwierigkeit. Ausser der gewünschten Farbe sind alle Theile des Spectrums

---

1 BOLL, Accad. d. Linceï. 6. Jan. 1877.

2 Vgl. KÜHNE, Zur Photochemie der Netzhaut. 5. Jan. Heidelberg 1877.

3 BOLL, Monatsber. d. Berliner Acad. 1877. 11. Jan. und Arch. f. Anat. u. Physiol. a. a. O.

vollkommen abzublenden und es müssen die durch das Diaphragma fallenden Strahlen noch mit einer Convexlinse so gebrochen werden, dass ihre lineare Vereinigung etwa in den vorderen Brennpunkt des Auges fällt, um auf der Netzhaut ein schmales, bandartiges Bild und ein entsprechendes Optogramm zu erzeugen. Zu diesen Versuchen wurden bis jetzt nur mit Curareödem behaftete Frösche geeignet gefunden.

Wirkung der langwelligen Strahlen. Das rothe, den Sehpurpur am wenigsten zersetzende Licht ist gleichwohl fähig die Netzhaut des lebenden Auges vollkommen zu bleichen. Es muss nur intensiv genug sein. Setzt man normale Frösche im Hochsommer unter mehrere Lagen rothen Glases, welches von directem Sonnenlichte nur die Strahlen von *A* bis *C* für unser Auge kenntlich durchlässt, so werden ihre Stäbchen ohne Ausnahme nach etwa 2 Stunden gänzlich entfärbt gefunden. Die Netzhaut kommt darauf freilich vom Epithel gleichmässig bezogen, als sammetschwarzes Häutchen zu Tage, an welchem nur die mikroskopische Betrachtung von der Rückfläche die Stäbchen in grosser Zahl, als farblos glänzende Stifte durch den braunen Pigmentbrei nach hinten ragend erkennen lässt. Wo es gelingt das Epithel vor weiterer Belichtung am unschädlichen Natronlichte stellenweise abzuschaben und grössere Stäbchengruppen intact zu erhalten, erweisen sich diese als ganz farblos. Um die Epithelschicht leichter abzutrennen, giebt es kein anderes Mittel, als Erwärmung stark ödematöser Frösche während der Rothbelichtung auf mehr als 30° C., was durch mässiges, mit dem Thermometer überwachtes Kühlen der sich in der Sonne bis zur Erzeugung der Wärmestarre erhitzenden Belichtungsgefässe erzielt wird.

Die Netzhaut erwärmter und ödematöser Curarefrösche trennt sich zwar in allen Fällen leicht von der Epithelschicht, wird aber besonders nach rother Belichtung damit nicht ganz pigmentfrei, da zwischen den Stäbchen noch mit Fuscinnadeln versehene, abgerissene Fortsätze der Epithelzellen stecken. Dies ertheilt der entfärbten Stäbchenschicht leicht ein graues und schmutziges Ansehen, an welchem die Stäbchen selbst ganz unbetheiligt sind. Wird die Rothbelichtung nach 1 oder 1 ½ Stunden unterbrochen, so ist dieses Verhalten des Pigmentepithels bereits ebenso ausgeprägt, während sich die Netzhautfarbe noch mehr oder minder erhalten, aber natürlich im Anblicke der ganzen Membrana zum Braun vertieft zeigt. Mikroskopisch durch die lange Axe betrachtet ist hier an den Stäbchen immer nur Aufhellung der Farbe zum reinen Roth, zum Orange, endlich bis zum blassesten Gelb, oder z. B. nach nur ½ stündiger Exposition, die gewöhnliche, keineswegs mehr vom Roth abgewendete und zum Violet in erhöhtem Maasse neigende Purpurfarbe zu erblicken. Um dem Ein-

wande zu begegnen, dass das mit dem Erwärmen combinirte Oedem abnorme Zustände bedinge, was gewiss zutrifft, insofern solche Netzhäute leicht Pseudooptogramme bekommen, muss erwähnt werden, dass sämmtliche ebengenannten, das Verhalten der Stäbchenfarbe betreffenden Angaben auch für die durch Schaben vom Epithel z. Th. befreiten Präparate, sowie für die durch das Epithel hindurch betrachteten gelten.

In einzelnen seltenen Fällen stösst man auf Froschaugen, deren Retina nach langem Dunkelaufenthalte reinroth ist, was auf Reste abnormer Weise (vergl. S. 286) intra vitam indolent gewordenen Sehgelbs zu beziehen ist. Um vor solchem sehr vereinzelten, unter vielen Beobachtungen als störend kaum zu vermuthenden Falle ganz gesichert zu sein, genügt es Rothbelichtungen partiell, also optographisch auszuführen, indem man den Frosch mitten unter ein zur Hälfte schwarz verdecktes, rothes Glas legt, und die beiden Netzhauthälften zu vergleichen. Ist ein Unterschied vor vollendeter Bleichung zu bemerken, so besteht er immer in der grösseren Deutlichkeit der purpurnen Nuance und in der Tiefe der Farbe auf der Seite, wo das Epithel leichter zu entfernen ist, also auf der unbelichteten, gegenüber der anderen, wo die einzelnen Stäbchen roth, orange oder gelb sind.

Durch rothes Spectrallicht werden an der Froschnetzhaut bezüglich des Epithels dieselben Veränderungen erzeugt, wie beim Sehen durch rothe Gläser, doch ist das Spectralroth zu schwach, um daneben mehr als Uebergang des Purpurs in Orange zu bewirken.

Im atropinisirten Kaninchenauge erweisen sich die rothen Strahlen ebenfalls schwach wirksam. Da directer Sonnenschein hier zur Erzielung scharfer Resultate unzulässig ist, kann nur im Allgemeinen angegeben werden, dass hellstes diffuses Tageslicht durch eine rothe Scheibe gedämpft, unter den für die Optographie vorhin erwähnten Einrichtungen niemals eher, als nach 30 Minuten Wirkung erzielt. Wird das Object zur Hälfte schwarz verdeckt, so findet man die Netzhaut auf der Bildseite zu dieser Zeit reinroth, auf der andern purpurn, nach etwa 40 Minuten orange, nach 1 Stunde hellgelb. Für die Erkenntniss der wahren Wirkungsweise langwelliger Lichtstrahlen auf den Sehpurpur im Leben, sind diese Versuche besonders maassgebend, weil die hier mit allen Vortheilen verwendbare Alaunhärtung stets völlig pigment- und epithelfreie Netzhäute liefert; durch dieselben wird auf das bestimmteste entschieden, dass dieses Licht durchaus keinen Umschlag zu tieferen Netzhautfarben bedingt, sondern, wenn es wirkt, wie jedes andere nur bleicht und zwar in einer das Sehgelb am meisten verschonenden Weise.

Ueber die Wirkung des gelben Lichtes liegen nur insoweit Er-

fahrungen vor, als man weiss, dass alle Vorbereitungen zu optographischen Versuchen an Fröschen, Hunden und Kaninchen vor Natronlicht beinahe so gut, wie im Dunkeln vorzunehmen sind, was jedoch eine die des rothen Lichtes selbst übertreffende Wirkung nicht ausschliesst. Die Froschnetzhaut monochromatisch mittelst des Spectrums gelb genügend zu beleuchten, scheitert an der ausserordentlich geringen Breite des reinen, weder orange noch grünlich aussehenden spectralen Gelb.

Wirkung der kurzwelligen Strahlen. Die in der Chemie des Sehpurpurs erörterte Bleichungsweise des gelbgrünen, grünen blaugrünen und blauen Lichtes wiederholt sich für die Netzhäute lebender Frösche und Kaninchen mit der einzigen Abweichung hinsichtlich der vom ersten bemerkbaren bis zum letzten totalen Effecte stets erforderlichen längeren Exposition. Vom Gelbgrün und Grün des Sonnenspectrums werden die Netzhäute curarisirter Frösche in 1/2 bis 1 Stunde, vom Blau in etwa 1 1/2 Stunden total gebleicht. Unter grünem Glase einerseits, unter Kupferoxydammoniak andrerseits dreht sich dies Verhältniss ebenso um, wie bei der isolirten Netzhaut (vergl. S. 280) und eine Mischung des gesammten Blau und Violett des Spectrums steht der Wirksamkeit nicht nur des gelbgrünen, sondern auch des reingrünen und blaugrünen Spectralabschnittes so bedeutend nach, dass auch beim Purpur der lebenden Netzhaut von einer Verstärkung des physiologischen Effectes der blauen Strahlen durch Combination mit den violetten kaum etwas zu bemerken ist.

Im lebenden Froschauge sind die von der isolirten Netzhaut bekannten, nach farbiger Belichtung vor gänzlicher Entfärbung entstehenden Bleichungsnuancen ebenfalls, obschon weniger deutlich zu erkennen. Bis zum Grün erzeugt das Spectrallicht als letzte Vorstufe gelbe, im Grün und Blaugrün chamois, im Blau und Violett hellrosa bis lila gefärbte Netzhäute, also mit abnehmender Wellenlänge weniger Sehgelb. Da alles Licht, gemischtes, wie monochromatisches, Epithelpigment zwischen die Stäbchen nach vorn treibt, so werden die Bleichfarben ohne mikroskopische Betrachtung meist braun oder grau, zu Schmutzfarben nuancirt gefunden, welche jedoch den einzelnen Stäbchen niemals zukommen; Charakteristisches für das zur Bleichung verwendete Licht findet sich darin nicht.

Auf Grund aller vorliegenden Erfahrungen kann die Beziehung und Abhängigkeit der Bleichungsnuancen an der Stäbchenfarbe von der Beschaffenheit des zur Wirkung verwendeten Lichtes durch folgende Sätze[1] ausgedrückt werden:

1 Vgl. A. Ewald und W. Kühne, Vom Einflusse des farbigen Lichtes auf den Sehpurpurpur des lebenden Auges a. a. O. S. 395—411.

1) In der isolirten, wie in der lebenden Netzhaut entsteht durch die photochemische Zersetzung des Sehpurpurs nur *ein* farbiges Product; dieses ist das Sehgelb, dessen quantitatives Verhältniss zum noch unzersetzten Purpur die Netzhautfarbe vor Vollendung der Lichtbleiche bestimmt.

2) Wo das Sehgelb ebenso so schnell oder schneller zersetzt wird, als der Purpur (im kurzwelligen Lichte) wird die Netzhaut rosa oder lila, wo das Umgekehrte stattfindet (im langwelligen Lichte) roth, orange, chamois oder gelb.

2. Verhalten der Zapfen.[1]

Wie unerheblich die Lichtempfindlichkeit der Chromophane sein mag, so könnte vielleicht grössere photochemische Zersetzlichkeit derselben in den Oelkugeln des lebenden Vogelauges vorausgesetzt werden, seit Mays den Einfluss des Sauerstoffs darauf entdeckte. In Oxydationen leistet der lebende Organismus so Ueberraschendes, zur Zeit auf chemisch-physikalischem Wege ohne ihn oft Unnachahmliches, dass es auch hier dem Versuche überlassen blieb etwaige Bleichungen im Leben belichteter purpurloser Vogelnetzhäute zu erproben.

Die Pupille der Tauben und Hühner ist so starker Verengung fähig und macht gegen intensives Licht so dauernden Gebrauch davon, dass die leicht zu constatirende Uebereinstimmung im Aussehen der Zapfen geblendeter und dunkel gehaltener Vögel fast vorauszusetzen war. Um von der Pupille unabhängig zu werden, kann das Vogelauge nach Entfernung des dritten Lides und nach Oeffnung der äusseren Lider mit dem Halter, der Cornea beraubt und die Pupille nach dem Ausschlüpfen der Linse durch in die Iris gelegte Miniaturlidhalter, zu einem grossen, quadratischen Loche erweitert werden. Der Glaskörper fliesst aus solchen Augen, so lange sie nicht stark geneigt werden, nicht ab und es besteht darin eine so starke Absonderung, dass auch kein Schutz gegen Verdunstung nöthig wird. Zur möglichst intensiven Belichtung der jetzt direct sichtbaren Retina, wird dieselbe mittelst Heliostat und Sammellinse der unbedeckten Sonne ausgesetzt und mit einem in den Glaskörper getauchten Thermometer diejenige Einstellung der Apparate gesucht, welche keine Gefahren thermischer Reizung befürchten lässt. Die Augen aller Thiere (Vögel,

---

1 W. Kühne, Fortgesetzte Untersuchungen über die Retina und die Pigmente des Auges a. a. O. II. S. 89.

Kaninchen, Frosch) können so der denkbar intensivsten Blendung unterzogen werden.

Bei der Taube ist der Erfolg, wenn überhaupt einer zu constatiren ist, das Gegentheil des vorausgesetzten. Die Netzhautfarbe vertieft sich und einzelne Farben der Zapfenkugeln werden reiner, als gewöhnlich gefunden. Die gelbgrünen Kugeln neigen mehr zum Grün, die rothen mehr zur reinen Rosenfarbe des Rhodophans, als zu dem bekannteren Rubinroth; an den Xanthophankugeln ist keine Veränderung zu bemerken. In einzelnen Fällen wird eine Einlagerung diffus feinkörnigen, gelbgrünen Farbstoffs in den Innengliedern der Zapfen mit Chlorophankugeln beobachtet, wahrscheinlich eine Neubildung von Chlorophan, bedingt durch den heftigen Lichtreiz, da die Erscheinung an im Dunkeln gehaltenen Tauben und Hühnern niemals gesehen worden.

Beim Bussard (Buteo vulgaris) wurden nach 10tägiger Gefangenschaft im Dunkeln, ausser vielen farblosen Zapfenkugeln, rothe, orange und gelbgrüne von mässiger Farbensättigung gefunden, bei einem vermuthlich gleich alten Exemplare derselben Species, das 11 Tage im hellsten Lichte gehalten, dagegen gar keine farblosen, sondern ausser tief orangen und ausserordentlich dunkelrothen, nur bläulichgrüne, keine gelblichgrünen. Alles dies spricht mehr für Zunahme und Neubildung der Chromophane im belichteten Vogelauge, als für deren Zerstörung durch Licht und es könnte darnach höchstens einen gelben Farbstoff in den Zapfen geben, der dem Lichte langsam wiche.

3. Verhalten des Epithels.

a. Das Lipochrin. Die goldgelben Oelkugeln des Retinaepithels unterliegen bei lebend geblendeten Fröschen nachweisbaren Veränderungen: sie werden, wie Boll andeutete, blasser und auch farblos. Hier lag anfänglich Verwechselung mit den Myeloïdkörnern, die erst später gefunden wurden, vor, aber es ist gleichwohl zweifellos, dass die Oelkugeln sich wirklich verändern; ihre Farbe wird heller, blass citrongelb, verschwindet selbst und es treten höchst merkwürdige Theilungen an ihnen auf, die vermuthen lassen, dass sie sich durch Aufnahme anderer Stoffe aus dem Zellenleibe zuvor in Gebilde verwickelterer Structur und Mischung umwandeln. Grössere Oelkugeln finden sich nach Blendungen umgeben von Häufchen kleinerer und einzelne Zellen enthalten nur diese letzteren. Je kleiner die Kugeln geworden, desto weniger ist daran meist, trotz der Schichtung zu Haufen, von Färbung zu sehen. Von den Myeloïdkugeln sind die

entfärbten Oelkugeln natürlich ausdrücklich erst durch das Verhalten zu Alkohol-Aether, Galle und Osmiumsäure (vergl. S. 246) zu unterscheiden. Aus noch mitzutheilenden Gründen zeigen sich die Oelkugeln nach maximaler Blendung, bei künstlich erweiterter Pupille, nicht an der am stärksten belichteten Stelle, sondern in deren Umkreise am meisten erblasst.

b. An den Myeloïdkörnern ist eine Lichtwirkung wohl wahrscheinlich, aber nicht erwiesen. Sie können fehlen, und in grosser, wie in kleiner Menge in Dunkel- wie in Hellaugen angetroffen werden. Am wahrscheinlichsten ist es, dass ihr Auftreten und Schwinden im Zusammenhange stehe mit Processen, die auf die Lichtwirkung im Dunkeln folgen, oder während continuirlicher, mässiger Belichtung stattfinden.

c. Das Fuscin scheint im Leben durch intensivste Blendung oder durch lang dauernde, gute Belichtung zu bleichen. Es gilt dies zwar nicht für die zwischen den Stäbchen und Zapfen vorgedrungenen, niemals Spuren von Verfärbung zeigenden Pigmentnadeln, welche besonders in der Froschretina wegen der Brechung des Lichtes an den Paraboloïden der Innenglieder zur Stäbchenaxe am wenigsten Licht erhalten, sondern nur von solchen Nadeln, welche im Zellenleibe hinter den Enden der durchleuchteten Stäbchencylinder liegen. Sichere Entscheidung giebt es darüber bis jetzt nicht: man findet in den geblendeten Augen nur einen eigenthümlich streifigen oder struppigen Inhalt im Protoplasma der Zellenkuppen, der für ausgebleichtes Fuscin zu nehmen ist.

Anhang. Veränderung der entfärbten Stäbchencylinder. An der Sonne im Leben gebleichte Stäbchenaussenglieder des Frosches zeigen ihre optischen Querschnitte beim Betrachten der Rückfläche so dicht gestellt, wie eng auf die Schnur gezogene Perlen, während sie in mässig belichteten oder ungebleichten Netzhäuten durch erhebliche Zwischenräume getrennt bleiben. Schwellung der Cylinder durch Licht, oder durch die Belichtung begleitende Processe wird hiernach wahrscheinlich. Nach einigen von v. Hornbostel[1] ausgeführten Messungen schwankt der Stäbchendurchmesser bei Dunkelfröschen von 0,006—0,007 mm, der der Zwischenräume von 0,0005—0,0008 mm, abgesehen von den grösseren, nach vorn von den Zapfen ausgefüllten Spalten. Stäbchen und Zwischenräume nehmen somit den Platz von 0,0065—0,0078 mm Durchmesser in Anspruch. Nach $^3/_4$—1 stündiger Besonnung sind die Stäbchen bis zur gegenseitigen Berührung angeschwollen und sind dann 0,0068—0,0072 mm dick. Ueber 0,008 mm steigt der Durchmesser auch nach 7—9 stündiger Besonnung nicht, und selten erreichte die Quellung den Grad, dass gegenseitige Abplattung erfolgte. Nach 1—1 $^1/_2$ stündi-

1 v. Hornbostel, Unters. aus dem physiol. Instit. z. Heidelberg I. S. 409.

gem Dunkelaufenthalte nehmen die Cylinder den genannten kleineren Durchmesser wieder an. Im rothen Lichte wird die Schwellung nicht bemerkbar, bevor nicht der Purpur gänzlich verschwunden ist.

II. Regenerative Vorgänge.

Alle beim Sehen gebleichten Stäbchen sind des Purpurs nur vorübergehend beraubt; sie nehmen nach genügendem Dunkelaufenthalte wieder maximale Färbung an. Im lebenden Auge giebt es also regenerative, den Sehpurpur wiederherstellende Vorgänge, die nach Art gewisser, allen Organismen zukommenden Processe dem Verbrauche durch Ersatz begegnen. Müssen wir solche Processe auch den niedersten und einzelnen Elementarorganismen zuschreiben, so herrscht doch im Allgemeinen die Neigung sehr verschiedene und namentlich gegensätzliche Processe, deren die vorliegenden ein eclatantes Beispiel bilden, um so mehr auf einzelne Organe, Gewebe, Säfte oder Elementarorganismen vertheilt zu denken, je höher entwickelt ein Organismus, und je grösser die Arbeitstheilung in ihm ist, und vor Allem ist man der Meinung, den Abgang des Verbrauchten sammt dem Ersatze desselben den bewegten Säften des Blutes oder der Lymphe zuschreiben zu müssen, wo die Organe von einem Gefässsysteme drainirt und gespeist werden. Die Retina liefert ein neues Beispiel dafür, wie übertrieben unsere Vorstellungen von der Erhaltung der den Geweben eigenthümlichen Vorgänge durch den sog. Ernährungsstrom im Allgemeinen sind und vermehrt die Gründe uns der Gewebe so vieler Geschöpfe zu erinnern, welche von jenen bewegten Vorräthen getrennt, nicht nur fortfahren selbständig bei der ihnen eigenthümlichen Leistung zu verharren, sondern sich auch nach erschöpfender Anstrengung durch blosses Wegfallen der äusseren Anregung wieder zu erholen. Wie der isolirte Muskel und Nerv niederer Wirbelthiere und vieler Wirbellosen während geraumer Zeit aus sich selbst alles zu neuer Leistung Nöthige schöpfen, so geht es auch der Netzhaut, auf welche der Ernährungsstrom ebenfalls nur ganz indirecten Einfluss übt.

Man setze einen Frosch 1/2 Stunde an die Sonne, exstirpire beide Bulbi und überzeuge sich an dem einen von der vollständigen Entfärbung der Netzhaut; nach 1—2 Stunden betrachte man die des andern, der inzwischen im Dunkeln feucht gehalten worden: man wird sie intensiv purpurn und sowohl ihre grünen, wie die übrigen Stäbchen so vollkommen gefärbt finden, wie an jedem normalen, frisch aus dem Kopfe genommenen Dunkelauge. Ein zum Vergleiche genommener, mitbesonnter Frosch, der den späteren Dunkelaufenthalt lebend

theilte, liefert keine besser gefärbte Netzhaut, und wenn man viele Versuche dieser Art anstellt, findet man von den ersten 20 Minuten der Lichtentziehung an bis zu der nach 1 — 2 Stunden vollendeten Rückfärbung, gar keine wesentlichen Unterschiede zwischen den im Leben und im Ueberleben regenerirten Stäbchen. In beiden beginnt die Färbung mit blassem Lila, und geht durch Rosa zum alten Bestande zurück. Der exstirpirte Bulbus kann selbst halbirt und der Glaskörper entleert sein, ohne der Regeneration ganz beraubt zu werden.

Das regenerirende Epithel.

Welches Gewebe zur Regeneration erforderlich sei, entscheidet das Folgende. Man nehme die von der Sonne im Leben gebleichte Netzhaut aus dem Auge eines im Curareödem befindlichen Frosches epithellos heraus und bewahre sie 2 Stunden im Dunkeln in der feuchten Kammer; daneben lege man die mit dem gesammten Epithel ausgeschlüpfte Netzhaut eines ebensolange besonnten, nicht curarisirten Frosches. Die epithelfreie Netzhaut wird jetzt ungefärbt gefunden, die andere, durch das Pigmentepithel mikroskopisch, oder nach dem Abschaben des letzteren angesehen, farbig, zwar nicht so intensiv, wie gewöhnlich, aber doch gut rosenfarben und hinsichtlich der grünen Stäbchen, wie normal. Im Leben gebleichte Stäbchen regeneriren ihren Purpur also nicht aus sich selbst oder aus Geweben die vor ihnen liegen, sondern aus dem dahinter liegenden Epithellager: das Retinaepithel besitzt für den Sehpurpur regenerirende Function, es wirkt regenerirend auf die Stäbchen.

In der vom retinalen Epithel ausgehenden Wiedererzeugung des Purpurs liegt der Grund für die Unterschiede der Bleichungszeit lebender oder im Zusammenhange mit dem Epithel überlebender und isolirter oder im Bulbus abgestorbener Netzhäute, d. h. die Ursache der anscheinenden Indolenz des Sehpurpurs im Leben. Diese Unterschiede sind beim Frosche erstaunlich gross, bei den Säugern sehr gering. Während die Froschnetzhaut isolirt am directen Sonnenlichte in unmessbar kurzer Zeit ausbleicht, bedarf sie im Auge des lebenden Frosches dazu mindestens 10 Minuten, und noch etwa 3 Minuten, wenn Cornea und Linse entfernt sind und die Sonne durch das grosse Loch darauf scheint, das sich an Stelle der engen Pupille durch einen Sperrhalter in der Iris herstellen lässt. Ein im diffusen Tageslichte lange geöffnet gelegener Bulbus liefert häufig noch recht intensiv gefärbte Netzhautpräparate, nachdem die des andern Auges, während umständlicher, mikroskopischer Untersuchungen schon ganz von demsel-

ben Lichte entfärbt worden; kurz auch im offenen und der Circulation beraubten Auge ist die Retinafarbe verhältnissmässig echt gegen Licht. Werden 2 mikroskopische Präparate von den Netzhäuten zweier Dunkelfrösche angefertigt, das eine ohne, das andere mit dem Epithel, wozu es besondere, später mitzutheilende Methoden giebt, und beide nur von vorn, mit Hülfe des von unten kommenden Lichtes der Spiegel am Mikroskope, welche es derselben Lichtquelle entnehmen, beleuchtet, so sieht man das epithelhaltige Präparat 3—4 mal später bleichen, als das epithelfreie. Haftet das Epithel nur stellenweise, so macht sich der gleiche Unterschied an einer und derselben Netzhaut geltend, der in beiden Fällen nicht auf Hindernisse der Beleuchtung durch das Fuscin zurückzuführen ist, da das Licht von vorn kommt, und durch die der Beobachtung zugänglichen Stäbchen kaum gehindert hindurchgeht.

Wird das Epithel stellenweise von der Stäbchenschicht gelockert, indem man einen halbirten Bulbus so zerrt und drückt, dass sich die Netzhaut in Falten legt, darauf das Präparat dem Tageslichte ausgesetzt, bis die Falten gebleicht sind, und die Membran in ganzer Ausdehnung abgezogen, so erscheinen die vorherigen Falten als blasse oder farblose Streifen in rothem, oft sogar noch purpurfarbenem, nach längerem Belichten auf chamois oder gelbem Grunde. Die Netzhaut kann auch zur Hälfte aus dem Bulbus emporgehoben und bis zur Bleichung dieses Antheiles belichtet werden; darauf herausgezogen, zeigt sie eine rothe oder gelbe und eine farblose Hälfte.

Die Bleichung des Purpurs durch Licht wurde als ein rein physikalisch-chemischer, von allen Lebensbedingungen, Structurverhältnissen und histochemischen Anordnungen, die wir der lebenden Retina zuzuschreiben haben, unabhängiger Process erkannt und beschrieben; da derselbe aber in der isolirten und epithelfreien Netzhaut unvergleichlich schneller verläuft, blieb noch zu erweisen, dass er nicht durch einen cadaverösen Vorgang beschleunigt werde. Denn wenn auch Zerquetschen, Alaunisiren, Gefrieren und Wiederthauen, Lösen der Netzhaut durch Galle u. s. w. die Bleichungszeit, im Vergleiche zu der einer herausgenommenen frischen Retina, nicht erheblich abkürzen, so konnte dies daran liegen, dass der *erste* cadaveröse Process, auf den es ankam, in der einmal isolirten Netzhaut bereits abgelaufen war. In gewissem Sinne trifft dies zu, insofern das Ablösen der Stäbchen vom Epithel zwei aufeinander angewiesene Gewebe trennt, nicht aber insofern darnach das Wesen des vom Lichte am Rhodopsin hervorgerufenen Processes geändert würde. Die Purpurbleiche durch Licht im Leben ist deshalb für vollkommen identisch

mit der an einer Purpurlösung erfolgenden zu halten, weil die Epithelfunction die vorkommenden zeitlichen Differenzen zwischen der letzteren und der Netzhautbleichung genügend erklärt.

Nicht so steht es um die Wiederfärbung im Leben gebleichter Netzhäute, auf welcher zugleich die scheinbare Indolenz des Rhodopsins intra vitam beruht, denn wenn das Epithel zwar vorhanden und selbst in unlösbarer Weise mit der Stäbchenschicht verbunden ist, so muss es ausserdem im Vollbesitze seiner Lebenseigenschaften sein, um jene Indolenz zu bewirken, vollends um einmal gebleichte Stäbchen wieder zu färben. Man lege ein Froschauge in Salzwasser von 45° C. bis es ganz durchwärmt ist und halte es, wieder abgekühlt, mit der opak gewordenen Netzhaut gegen Tageslicht: jetzt wird man die Färbung ebenso rasch schwinden sehen, wie an jeder epithelfreien frischen Netzhaut. Ein bei Lebzeiten in der Sonne um seinen Purpur gebrachter Frosch, im Dunkeln sogleich in ein Bad von 45° C. geworfen, das ihn bis in seine Elementarorganismen abtödtet, zeigt nach längerem Liegen im Dunkeln keine wieder gefärbte Netzhaut.

Da es im gesammten Wirbelthierleibe wenig eigenthümlichere und anscheinend unnachahmlichere Verbindungen verschiedenartiger Elementarorganismen giebt, als die der von je einer epithelialen Pigmentzelle umfassten Stäbchen-Zapfengruppe, sollte man meinen, dass die functionellen Wechselbeziehungen zwischen ihnen erlöschen müssten, wenn jene Anordnung einmal getrennt worden. Dem ist nicht so. So lange die nach dem Abziehen der Sehzellen blossgelegte Vorderfläche des Epithellagers nur einigermaassen frisch erhalten wird, bleibt sie vollkommen fähig, unter gewissen Umständen gebleichte Stäbchen, wieder zu färben. Man hebe die Netzhaut nur mit einem Lappen vom Epithelgrunde ab, stütze diesen mit einem Porzellanscherben gegen das Licht, bis man sich von seiner Bleichung überzeugt hat, lasse ihn wieder gegen das Epithel zurücksinken und halte das Auge jetzt 10—30 Minuten im Dunkeln. Zieht man darauf die ganze Retina heraus, so wird sie ganz homogen purpurn gefunden und so gleichmässig gefärbt, dass nicht einmal die Grenze anzugeben ist, bis zu welcher sie zuvor gebleicht worden. Es kann auch aus einem möglichst nahe der Iris, durch einen Kreisschnitt geöffneten Bulbus, die ganze Retina an der Zonula Zinnii hängend, vom Glaskörper gefüllt, an der Linse gepackt, wie ein Beutel hervorgezogen, ans Licht getragen, gebleicht und wieder an den alten Platz ins Auge zurückgelegt werden, ohne dass der Epithelgrund aufhörte sie wieder zu färben. Hiernach ist es ausser Zweifel, dass die aufgerissene Epithelplatte nicht unbe-

trächtliche Zeit überlebt und die Fähigkeit bewahrt, gebleichte Stäbchen, bei vollkommen unnatürlicher Berührungsweise, wieder zu färben. Was solches Epithel aber nicht vermag, das ist die Wiederfärbung im Leben gebleichter Stäbchen; diese Versuche glücken also nur mit Netzhäuten, welche nach der Isolation belichtet worden.

Da das Epithelium das Regenerationsvermögen durch Absterben verliert, ist bei den Säugern, deren Gewebe nach erloschener Athmung und Circulation schnell absterben, kaum auf die Möglichkeit zu rechnen, die charakteristische Epithelfunction nachzuweisen. In der That zeigt die dem lebenswarmen Kaninchenauge schnell entnommene Netzhaut, am Lichte gebleicht und gegen ihren Epithelgrund zurückgelegt keine Rückfärbung, es giebt aber Mittel wenigstens den Einfluss des Absterbens auf die Bleichungszeit und den der kurzen Ueberlebenszeit des retinalen Epithels auf jene zu erkennen. Man stellt zu dem Ende im Auge eines lebenden Kaninchens ein Optogramm her, notirt die Expositionszeit, köpft das Thier sofort und exponirt das andere Auge ebenso lange unmittelbar darauf. Bei sorgfältiger Beachtung der S. 302 erwähnten Zeichen an den Optogrammen, welche den Grad der Lichtwirkung scharf beurtheilen lassen, stellt sich eine unzweifelhaft stärkere Bleichung an dem letzteren heraus, die noch deutlicher wird, wenn das Todesoptogramm nicht so eilig, erst 2—3 Minuten nach dem Decapitiren angefertigt worden. Solche Versuche haben freilich nur bei ziemlich intensivem Lichte Erfolg, weil die Expositionszeiten kurz genug sein müssen, um die Ueberlebenszeit nicht zu überdauern und weil die Pupille in einem bestimmten Stadium nach dem Tode, trotz Anwendung von Atropin sehr eng wird. Der Versuch ist daher nur ganz beweisend, wenn die Augen vor und nach dem Tode mit einem engen Diaphragma versehen werden, über dessen Dimensionen hinaus die Pupille sich nicht verengern kann. An in den letzten Lebensmomenten entstandenen Optogrammen Zeichen postmortaler Regeneration zu entdecken, gelingt nicht, ebensowenig der Nachweis, dass ein sogleich nach dem Tode hergestelltes Optogramm durch weiteres Liegenbleiben im Auge rückgängige Veränderungen erfahre.

Einfacher, obschon minder scharf überzeugt man sich von der Regeneration im absterbenden Säugerauge durch directe Beobachtung bleichender Netzhäute an albinotischen Kaninchen. Indem man den frischen, pigmentlosen Augengrund dieser Thiere mit der Sclera über eine entsprechend convexe Fläche umklappt, erkennt man die von der streifig-rothen Blutzeichnung unterschiedene, diffuse Purpurfarbe der Stäbchen leicht. Wird ein Stück dieser Netzhaut sofort vom Epi-

thel abgezogen und auf einem weissen Teller belichtet, so erscheint dieses vollkommen farblos zu einer Zeit, wo der auf dem Augengrunde gebliebene Antheil noch kaum verändert, oder rasch ebenfalls abgezogen, mindestens noch deutlich gelb aussieht. An Augen, welche etwa 10 Minuten nach dem Tode im Dunkeln gelegen, ist dieser Unterschied nicht mehr vorhanden: die Gegenwart des Epithels und zwar nur des frischen, überlebenden, verzögert also auch beim Kaninchen die Bleichung etwas.

Regeneration im sehenden Auge.

In jeder Beziehung unerwartet verläuft die Regeneration des Sehpurpurs im Leben ausserordentlich langsam. Beim Frosche, wo man im Allgemeinen trägere stoffliche Vorgänge gewöhnt ist, mag dies weniger überraschen, aber Kaninchen und Hund sind ihm in diesem Falle nicht besonders überlegen. Wie schon angeführt, braucht der Frosch 20 Minuten Dunkelheit um die erste Spur der Stäbchenfärbung wieder zu gewinnen, 1—2 Stunden, zuweilen noch mehr um sie auf die Höhe zu bringen. Die grossen Differenzen hängen ab von der Temperatur: bei hoher Temperatur dürfte 1 Stunde die kürzeste Frist sein, worin sich der Vorgang vollendet; setzt man die Thiere nach der Bleichung in Eiswasser, so bedürfen sie dazu der colossalen Zeit von 9 Stunden. Von den Kaninchen bemerkte Coccius[1] zuerst, dass sie nach längerem Aufenthalte im Freien und darauf folgendem Verweilen im Dunkeln, nach der nächsten halben Stunde noch sehr blasse Netzhäute hatten. Sicher des Purpurs beraubte Kaninchen[2], die mit atropinisirten Augen im Freien an der Sonne gesessen, brauchen 7 Minuten Dunkelheit um den ersten schwach rosafarbenen Anflug, 33—38 Minuten um maximal gefärbte Stäbchen zu erhalten.

Sehr scharf wird über den Gang der Regeneration durch die optographische Methode entschieden. Um die Zeit der vollkommenen Wiederherstellung des Purpurs zu bestimmen, wird zunächst auf einem Auge ein Optogramm erzeugt, dessen Vollkommenheit zu constatiren ist, indem man den Bulbus gleich nach beendeter Exposition enucleïrt. Unmittelbar darauf, so dass die Lichtintensität inzwischen meist keine Aenderung erlitten haben kann, wird das zweite Auge ebenso lange exponirt und beispielsweise 40 Minuten später geöffnet und alaunisirt. Ist keine Spur des Optogramms mehr sichtbar, so beweist dies vollkommene Wiederherstellung des Purpurs, soweit unser

---

1 Coccius a. a. O.
2 A. Ewald und W. Kühne a. a. O.

Auge über Farbendifferenzen zu entscheiden vermag. Die genannten Zeiten wurden auf solche Weise gefunden.

Wie die Sehleiste und die subhorizontale Netzhautfläche wegen ihres verschiedenen Purpurgehaltes die genaueste Beurtheilung der Lichtwirkung gestatten, wo sich die letztere optographisch über beide Theile erstreckt, so dienen diese im Auge vieler Thiere vorhandenen Netzhautbildungen auch vortrefflich um den Gang der Regeneration zu erschliessen. Die Rückfärbung kann vollkommen sein auf der Fläche und noch unvollendet auf der Leiste, unvollkommen auf der ersteren und auf der letzteren noch so im Rückstande, dass hier statt verwaschener Bildspuren. messbare Reste vorliegen.

1) Die Rhodogenese.

Neogenese und Anagenese. Genau bis zur Farblosigkeit oder länger exponirte Netzhäute enthalten in keinem Stadium der Regeneration Sehgelb: ihre Farbe beginnt mit dem blassesten Lila oder Rosa und geht nur durch Stufen steigender Sättigung des Rosenroth zum Purpur zurück; selbst Chamois wird unter diesen Uebergangsfarben vermisst. Der Sehpurpur kann hier also nicht in derselben Weise rückwärts aus Sehweiss entstehen, wie dieses aus jenem hervorgegangen und der Process beginnt demnach gewiss nicht von in den Stäbchen abgelagertem Sehweiss aus, unter Verwendung von Material, das schon einmal zum Umsatze des Lichtes gedient hatte, sondern fängt mit etwas Neuem, neogenetisch an. Es ist kaum zu bezweifeln, dass der Vorgang in einer Abgabe entweder fertigen Sehpurpurs, oder frischen Materials, aus welchem sich jener sogleich bildet, an die Stäbchen besteht. Im ersteren Falle würde die Epithelzelle zur Bildungsstätte fertigen Sehpurpurs, der in dem Maasse darin entsteht, als die Stäbchen seiner bedürfen, oder in dem Maasse an diese abgegeben wird, als er in dem Epithelprotoplasma fertig geworden. Dieser, wie immer beschaffene, als Neogenese zu bezeichnende Vorgang ist es, welcher mit der hervorgehobenen auffallenden Langsamkeit verläuft.

Ausser der Neogenese existirt ein zweiter Vorgang, mehr gegenseitiger Art zwischen Stäbchen und Epithelzellen: es ist die Anagenese, ein Process der nicht ausschliesslich in der Lieferung vorher gefertigten und neuen Färbungsmaterials an die Stäbchen, sondern in einer Herstellung des alten, schon einmal gebrauchten, in den Stäbchen liegen gebliebenen, besteht, dessen Reste in Gestalt von Sehweiss noch keine Gelegenheit fanden die Stäbchen zu verlassen. Diese Anagenese ist gekennzeichnet durch die Farbenfolge: sie be-

ginnt niemals mit Lila oder Rosa, sondern immer mit Gelb, von welchem sie durch Chamois, Orange und Roth zum Purpur zurückführt, also in der umgekehrten Reihenfolge, in welcher der Sehpurpur am gemeinen Lichte zur Farblosigkeit übergeht. Um diesen Process allein scheint es sich zu handeln, wenn eine isolirt gebleichte Netzhaut in den Epithelgrund des Froschauges zurückgelegt, wieder gefärbt wird, wobei sie durch die erwähnte Farbenreihe vom blassesten Strohgelb, in verhältnissmässig kurzer Zeit zum Purpur zurück gelangt. Aehnlich, obschon nicht so rein, weil die Neogenese sich einmischt, verläuft der Process im lebenden Auge, wenn dessen Stäbchen, nach unvollkommener Bleichung, der Restitution theilhaftig werden, was wiederum und auch im Kaninchenauge durch die mit Gelb nuancirte Farbenreihe charakterisirt ist. Ein von unvollendeter Regeneration noch kenntlich gelassenes Optogramm muss also in den hellen Streifen Sehgelb enthaltende Farben aufweisen, wenn es unterexponirt entstanden war, d. h. in allen Fällen, wo jene Streifen zu schmal sind; und so ist es in der That, während die zu breiten hellen Streifen überexponirter Optogramme, in allen Stadien der regenerativen Auslöschung jene Farben niemals enthalten dürfen, was ebenfalls vollkommen zutrifft, da daran niemals andere Farben als die eines mehr oder minder gesättigten Purpurs zu sehen sind. Der Streifenbreite nach richtig exponirte Bilder können endlich theils neogenetische, theils anagenetische Zeichen besitzen, wie es auch thatsächlich beobachtet wird.

Da die Regeneration durch Anlegen der Froschnetzhaut gegen das Epithel des exstirpirten Bulbus in 10—30 Minuten verläuft, also mit der Neogenese verglichen, überraschend schnell, kann für das lebende Auge gleichfalls ein viel rascherer Wiedergewinn des Purpurs vorausgesetzt werden, wo derselbe nicht ganz aus den Stäbchen geschwunden und die Möglichkeit der Anagenese zuzugeben ist. Nur angebleichte Netzhäute, oder in allen Theilen noch farbige, aber immerhin schon recht deutliche Optogramme bedürfen wirklich beim Kaninchen nur 10—15 Minuten Lichtentziehung, um vollständig zu verschwinden. Dies erklärt zugleich ein besonderes Verhalten fast aller unvollkommen regenerirten Optogramme, dessen darum erst hier Erwähnung geschieht, nämlich dass selbst überexponirte Bilder während der Regeneration zu klein, um die peripheren Theile verkürzt oder in diesen gelb nuancirt gefunden werden. Da die auf die Netzhautperipherie gefallenen Antheile des Bildes die schwächer belichteten sind, so können sie unterexponirt bleiben, wenn die centralen schon überexponirt sind.

Für das Sehen der Thiere und Menschen verdient die verhältnissmässige Geschwindigkeit der Anagenese Beachtung, weil dieser Vorgang es ist, welcher bei dem bevorzugten Lichte geschlossener Räume, das unsere Netzhaut sonst sicherlich bald ganz entfärben würde, mehr in Betracht kommt, als die Neogenese und weil derselbe unseren Stäbchen am meisten helfen wird, bei dem langsamen Wechsel mittleren und gedämpften Lichtes, den wir gern aufsuchen. In gewissen Intervallen wechselndes Licht verliert bei Kaninchen alle optographische Wirkung. Unter Umständen, wo ein gutes, obschon nicht vollendetes Bild im atropinisirten Auge bei 45 Sec. constanter Belichtung, entstand, lieferte dieselbe Belichtungszeit im Ganzen, wenn sie je 1/4 Sec. nach 3/4 Sec. Beschattung anhielt, was mit regelmässig rotirenden Diaphragmen leicht zu bewerkstelligen war, gar keine Anbleichung, und nur Spuren eines sehr kleinen auf das Centrum der Retina beschränkten Optogramms, nachdem die Belichtung im Ganzen 7 1/2 Min. betragen, und das Licht während einer vollen Stunde, nach je 7/8 Sec. Dunkelheit, 1/8 Sec. gewirkt hatte.

Zur künstlichen Regeneration des Stäbchenpurpurs ist zwar Wiederberührung mit überlebendem Epithel erforderlich, die Netzhaut selbst kann aber bereits abgestorben sein. Dieser Umstand wird ebenso, wie der schon erwähnte, dass nur isolirt gebleichte Netzhäute der künstlichen Regeneration fähig, im Leben gebleichte dazu ungeeignet sind, durch das Folgende verständlich.

2) Die Autoregeneration.

Aus Dunkelaugen vollkommen fuscinfrei entnommene Froschnetzhäute, feucht gegen eine verticale Fläche geklebt, zeigen schwachem Lichte exponirt häufig merkwürdige Verspätung der Ausbleichung im unteren, herabhängenden Rande und wenn man eine Reihe solcher Retinae, sich berührend übereinander klebt, so können die oberen schon farblos sein, während die unteren kaum verändert sind. Dies macht den Eindruck, als ob etwas regenerirend Wirkendes aus den oberen zu den unteren flösse, vielleicht Reste fuscinfreien Epithelprotoplasmas, das aus den Stäbchenzwischenräumen nicht ganz zu entfernen sein mag.

Jede isolirt gebleichte Froschnetzhaut zeigt ferner nach 2—3-stündigem Verweilen im Dunkeln eine gewisse Wiederkehr der Farbe: sie wird blassstrohgelb, dann hellchamois endlich blassrosa und wenn man dies am folgenden Tage etwa wieder fortbleicht, so kehren die Farben schwächer und langsamer zum zweiten Male zurück, zuweilen, nach abermaligem Belichten, selbst zum dritten Male. Die

Membran wird dabei in der Regel teigig und trübe, ohne dass diese unzweifelhaften Zeichen des Absterbens den geringsten Einfluss auf die Autoregeneration übten. Hat man die Netzhaut im Dunkeln, in etwa 24 Stunden absterben und dann erst ausbleichen lassen, so wirkt die erste Lichtentziehung ebenso kräftig und schnell, wie auf die frische Membran. Die Netzhaut kann auch 24 Stunden im Dunkeln, in gesättigter NaCl-Lösung gelegen haben, darauf mit NaCl von $^1/_2$ pCt. ausgewaschen und nach dem Abtropfen durch Licht gebleicht sein, ohne das Vermögen zur Rückfärbung zu verlieren. Die Erscheinung ist dann sogar noch deutlicher, als an nicht gesalzenen Präparaten. Wird die gesättigte Salzlösung nicht entfernt und die Bleichung in derselben vorgenommen, was an der Sonne mehr als 1 Stunde erfordert, so kehrt die Farbe im Dunkeln ebenfalls zurück, aber erst in 5—8 Stunden und nur bis zum Chamois gehend. Aehnlich verhält sich eine mit Glycerin befeuchtete Netzhaut, während nach der Behandlung mit NH_3 oder Soda keine Wiederkehr von Farbe zu bemerken ist.

Im Leben gebleichte und epithelfrei aus dem Auge gekommene Netzhäute zeigen unter den genannten Behandlungen keine Spur von Autoregeneration.

Ohne gegenwärtig entscheiden zu können, ob die Autoregeneration von Substanzen herrühre, welche in den Stäbchen stecken, oder von pigmentlosen Epithelfragmenten, welche diesen anhaften, sind die vorliegenden Thatsachen als wichtige Belege für einen von allen Lebenseigenschaften der fraglichen Gewebe unabhängigen, chemischen Process zu halten, welcher die Nachahmung eines der merkwürdigsten Lebensvorgänge enthält. Für denselben wurde eine hypothetische Erklärung versucht, nach welcher die Stäbchen der isolirt belichteten Netzhaut mit den Bleichungsproducten des Purpurs, nämlich mit dem Sehweiss behaftet blieben, welches unter Einwirkung einer andern, vorläufig als Rhodophylin zu bezeichnenden Substanz, die aus dem Epithel stammt und in kleinen Mengen an oder in den Stäbchen haftet, im Dunkeln wieder zu Sehgelb und Sehpurpur werde. Die Hypothese erklärt die Unfähigkeit im Leben gebleichter Netzhäute zur Autoregeneration aus dem gleichen Grunde, aus welchem denselben auch statt anagenetischer, nur neogenetische Restitution der Färbung zukommt, wenn das Sehweiss im Leben irgendwie verloren geht.

Auf Schwinden des Sehweiss durch Resorption oder durch andere Vorgänge darf geschlossen werden, weil den im sehenden Auge entfärbten Netzhäuten eine wichtige, in kaum zu bezweifelndem Zusammenhange mit den letzten Bleichungsproducten des Purpurs stehende Reaction abgeht, nämlich die kräftige weissgrüne Fluorescenz; es

bleibt also wesentlich der Nachweis zu führen übrig, dass eine oder mehrere Substanzen von rhodophylactischen Eigenschaften, oder Etwas, unabhängig von allen sonstigen Lebensvorgängen, auf Sehweiss anagenetisch wirkendes in der Retina und vorzugsweise in deren Epithel vorkomme.

3) Künstliche Rhodogenese.[1]

Kann die Autoregeneration abgetödteter Retinae im Gegensatze zur vitalen Rhodogenese schon als eine künstliche bezeichnet werden, so hat dieselbe Erscheinung an gebleichter Purpurlösung darauf noch grösseren Anspruch. Aus Froschnetzhäuten mit 2 procentiger, vollkommen alkohol- und ätherfreier Galle bereitete Purpurlösungen zeigen nach vollständigem Ausbleichen zwar schwache, aber unverkennbare Rückkehr der Färbung nach einigem Stehen im Dunkeln: sie pflegen nach 40 Minuten hellgelb, in 1—2 Stunden sehr blassrosa zu werden und es kann sich dies ein- bis zweimal, nach erneuter Belichtung langsamer und mit abnehmender Deutlichkeit wiederholen. Die gewöhnliche Purpurcholatlösung enthält also alles zur Anagenese Erforderliche: nach der Hypothese neben überschüssigem Sehweiss, Spuren von Rhodophylin. — Lösungen im Leben gebleichter und mittelst des Curareödems vom Epithel getrennter Netzhäute färben sich im Dunkeln gar nicht.

Seit es so viele Gründe giebt, dem retinalen Epithel den mächtigsten Einfluss bei der Anagenese, wie bei der Neogenese zuzuschreiben, war zu erwarten, dass die so leicht ebenfalls mit Galle herstellbaren Lösungen des Epithelprotoplasmas, gebleichten Stäbchenlösungen zugesetzt, mächtig rückfärbend auf die letzteren wirken würden. Ein solcher Versuch ist bis jetzt an der Schwierigkeit gescheitert reine hämoglobinfreie Epithellösungen zu gewinnen, da das im Augengrunde mit der Chorioïdes zurückbleibende Epithellager von der blutreichen Unterlage nicht zu trennen war. Für die vorliegenden Zwecke gesellt sich dazu ein Uebelstand, der in der Unmöglichkeit besteht, solche schon mit Hämoglobin verunreinigte Epithellösungen auch frei von Sehpurpur zu erhalten. Das im Dunkelauge von selbst zurückbleibende, im Hellauge durch Oedem, beim Ausschlüpfen der Netzhaut an die Uvea zu fesselnde Epithel liefert nach Verarbeitung der Augengründe mit Galle immer schwarze Flüssigkeiten, die nach dem Absetzen des Fuscins neben der bleibenden Blutfärbung Veränderun-

1 A. Ewald und W. Kühne, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. S. 753 und a. a. O. I. S. 248.

gen am Lichte erkennen lassen. An der Sonne blassen sie deutlich bis auf die spectroskopisch nachweisbare, dünne, oft venös grünliche Blutfarbe ab; darauf ins Dunkle zurückgebracht zeigen sie schon nach 15 Min. Vertiefung der Farbe, nach einigen Stunden Uebergang ins Kirschfarbene, Erscheinungen, welche sich nach neuen Belichtungen wiederholen. Wie unvortheilhaft und unerwartet dieses Verhalten sein mag, so bürgt es für eine sehr wichtige Eigenschaft der Epithelzellen, nämlich für die, Sehpurpur in sich, ohne Zuthun der Stäbchen bilden zu können, was für die Neogenese besondere Beachtung verdient.

Um die ebengenannten Schwierigkeiten zu umgehen, ist die Rückfärbung reiner Stäbchenlösungen mit derjenigen von Lösungen aus Epithel und Stäbchen zu vergleichen. Letztere sind leicht hämoglobinfrei darzustellen, indem man die Netzhaut in Eis gehaltener Dunkelfrösche mit der gesammten, jetzt haften bleibenden Epitheldecke aus dem Auge zieht und wie gewöhnlich mit Galle behandelt; durch Absetzen und Abpipettiren vom Fuscin befreit erscheinen sie rein purpurfarben. Vergleichung der beiden, mit gleichen Cholatlösungen, aus gleich vielen Netzhäuten hergestellten Flüssigkeiten ergiebt: 1. viel langsamere Bleichung der epithelhaltigen am gleichen Lichte, 2. viel schnellere und intensivere Rückkehr der Farben nach Lichtentziehung in dieser, als in der reinen Stäbchenlösung. Hiermit ist der Beweis besonderer rhodophylactischer Wirkung in Galle löslicher Epithelstoffe, oder der Anwesenheit einer als Rhodophylin zu bezeichnenden Substanz gegeben.

Für das sehende Auge darf nach den hier erörterten Erfahrungen bezüglich des Vergehens und Entstehens der Stäbchenfärbung Folgendes angenommen werden: das Licht zersetzt den Sehpurpur allmählich, so dass Mischungen, 1. von Purpur und Sehgelb, 2. von Purpur, Gelb und Sehweiss, 3. von Gelb und Sehweiss, endlich nur Sehweiss in den Stäbchen übrig bleiben. In Folge einer fortwährend bestehenden anagenetischen Rhodophylaxe werden die genannten photochemischen Zersetzungsproducte in der umgekehrten Reihefolge ihrer Entstehung zurückverwandelt, so lange das Licht schwach ist und die photochemische Zersetzung mit der Rhodophylaxe im Gleichgewichte ist. Ist das Gleichgewicht zu Gunsten der Lichtwirkung gestört, so beginnt die Bleichung überhaupt erst merklich zu werden; dieselbe ist aber mit derjenigen isolirter Netzhäute verglichen, bis zu beträchtlichen Intensitäten der Beleuchtung hin, stark verlangsamt (scheinbare Indolenz des Purpurs sehender Augen). In dem Maasse, wie bei steigendem Lichte Sehweiss gebildet und nicht mehr zu Sehgelb und

Sehpurpur zurückverwandelt werden kann, entweicht das letzte Bleichproduct aus den Stäbchencylindern, vielleicht indem es die Retina gänzlich verlässt oder in den Innengliedern, möglicherweise noch in den Epithelzellen Verwendung findet. Dass das Sehweiss durch Licht **noch** weiter verändert werde zu einer anagenetisch nicht mehr brauchbaren Substanz, ist unwahrscheinlich, weil lange Fortsetzung der Belichtung, nach einmal erzielter Totalbleichung, weder im lebenden Auge, noch an der epithellosen Retina hinsichtlich der regenerativen Processe oder der Fluorescenz garkeine weiteren Aenderungen erzeugt. Ist das Sehweiss aus den Stäbchencylindern geschwunden, so tritt erst bei starker Dämpfung oder Entziehung des Lichtes Rückfärbung ein; diese ist neogenetisch und von äusserst langsamem Verlaufe.

Das Material, woraus der Sehpurpur neogenetisch entsteht, oder welches dabei thätig ist, muss farblos sein, da das Fuscin und Lipochrin des regenerirenden Epithels, an die gedacht werden könnte, in dessen Lösungen nicht mit übergehen und da beide den Albinos fehlen, deren Netzhäute sich im Dunkeln gerade so gut wieder färben, wie andere. An das Lipochrin wäre auch um so weniger zu denken, als dasselbe dem Retinaepithel der meisten Thiere fehlt. Es kann sich für den Process nur um das farblose Protoplasma der Epithelien handeln, das wie eine flach ausgebreitete, Purpur erzeugende Drüse sämmtlichen Stäbchen angeschmiegt ist. Bei der auffallenden Uebereinstimmung der Myeloïdkörner mit dem Myeloïd der hinteren Abschnitte der Stäbchencylinder und bei dem benagten Aussehen fast aller Stäbchenkuppen ist eine Beziehung dieser Theile zu einander wol zu erwägen, um so mehr, als die Myeloïdkörner unter den Vögeln ausschliesslich den Eulen zukommen, deren Stäbchen am meisten entwickelt und am purpurreichsten sind; dass jene Körner aber Generatoren des Purpurs seien, steht so lange dahin, als sie bei den meisten Thieren vermisst werden, oder so lange dort kein diffus im Protoplasma verbreitetes Myeloïd erkannt ist, welches darin freilich enthalten sein könnte.

4) Lebensbedingungen des regenerirenden Epithels.

Die lange Dauer der Neogenese kann am wenigsten im Vergleiche mit der schnelleren, wesentlich auf Rhodophylaxe hinauskommenden Anagenese auffallen, und wird sehr verständlich, wenn man die gewiss nicht unerhebliche materielle Ausgabe, welche sie jeder Epithelzelle zumuthet, erwägt. Wie langsam der Process verlaufe, ist auch an Netzhäuten zu sehen, die ihr Sehweiss nicht ein-

büssen konnten, wenn man sie nämlich nach der Isolation ausbleicht und in ein besonntes, der eigenen entfärbten Retina beraubtes, fremdes Froschauge, gegen dessen mit Hülfe von Oedem im Grunde zurückgehaltenes Epithel legt; hier bedarf es mehr als einer, meist 2 Stunden bis die künstliche Neufärbung glückt. Andere Gründe für die Langsamkeit dieser Rhodogenese sind in Veränderungen der Epithelien durch das Licht zu suchen, welches diese nach seinem Durchgange durch die Stäbchen trifft, vermuthlich in einer, zunächst im chemischen Sinne zu nehmenden, Lichtempfindlichkeit ihres Protoplasmas, wofür manches spricht. Im Allgemeinen ist intensive Belichtung des nackten Epithelgrundes schon wenig geeignet, dessen Fähigkeit angelegte Stäbchenschichten wiederzufärben, zu erhalten, man dürfte sich also nicht wundern, wenn das den Epithelzellen durch die Stäbchen in situ zukommende Licht, welches nicht in der Weise, wie am entblössten Epithel, durch die zusammensinkenden, fuscinreichen Zellfortsätze am Zutritte gehindert wird, die regenerativen Vorgänge noch mehr verzögerte. So lange die Stäbchen nicht gebleicht sind, erhält das Epithel hauptsächlich rothes und violettes, etwas später rothes und gelbes Licht, dessen Strahlen auf die Stäbchenfarbe auch im Leben am wenigsten und natürlich noch weit schwächer, als auf die der epithellosen Netzhäute wirken. Besondere Versuche am Kaninchen und am Frosche haben ergeben, dass die rothen Strahlen wenigstens den regenerativen Vorgängen sehr wenig nachtheilig sind; rothes Licht leistet in der Beziehung zwar nicht mehr, als Dunkelheit, kann aber bei mittlerer Intensität solchen Grades, dass es immer noch als hell empfunden wird, Lichtentziehung ersetzen, so dass eine vorher durch anderes Licht gebleichte Netzhaut darin fast in derselben Zeit ihre Normalfarbe wieder gewinnt, wie wenn man das Auge ganz im Dunkeln gehalten hätte. Dennoch ist für Frösche eine Helligkeit rothen Lichtes herauszufinden, welche an sich nicht ausreicht die Netzhaut von Dunkelfröschen zu bleichen und doch die Regeneration anderer von gewöhnlichem Lichte vorher gebleichter nicht aufkommen lässt; bei den letzteren tritt dann nach mehrstündiger Rothbelichtung der interessante Fall ein, dass der Purpur sich doch nur etwa in dem Maasse bildet, als er durch dieses Licht zerstört worden, denn wenn man die Thiere schliesslich ins Dunkle setzt und nacheinander von 5 zu 5 Min. untersucht, so findet man ihre Retina jedesmal besser gefärbt und nach 15—20 Min. wieder von normalem Purpurgehalte.

Nur bei den Warmblütern scheint die Regeneration mit der Blutcirculation oder wenig später zu erlöschen; man findet sie merklich verzögert nach Druck auf den Bulbus, nach starken Blutentziehungen,

nach kräftigen, gefässverengend wirkenden electrischen Reizen am Auge. Dagegen scheint sie nicht beeinflusst zu werden von den meisten Erregungs- und Lähmungszuständen, welche an den Nerven des Auges zu erzielen sind. HOLMGREN[1] constatirte den Netzhautpurpur noch bei Kaninchen, deren N. optici vor mehr als einem Jahre in der Schädelhöhle durchschnitten worden. LANGENDORFF[2] fand dasselbe bei Fröschen, denen er Monate zuvor den Sehnerv in der Orbita zerschnitten hatte. Die nach HOLMGREN's Methode operirten Kaninchen zeigen lange Zeit nachher bezüglich der Ausbleichung und Wiederfärbung vollkommen normales Verhalten.[3] Durchschneidung des N. trigeminus, des N. sympathicus am Halse, des N. oculomotorius in der Schädelhöhle ändern nichts an der Regeneration, ebensowenig Vergiftung mit Curare oder grossen Dosen Atropin (auch beim Hunde). Reizung des andern Auges durch Licht oder Belichtung benachbarter Stellen auf derselben Retina lassen keine Aenderungen im Gange des Processes entdecken. Dagegen wirken kleine Dosen Muscarin oder Pilocarpin bei Hunden und Kaninchen merkwürdig beschleunigend auf die Rückkehr der Stäbchenfärbung, so sehr, dass die überexponirte Netzhaut spätestens nach 20 Min. im Dunkeln wieder maximal gefärbt erscheint. In Uebereinstimmung mit vielen der erwähnten Thatsachen spricht die Wirkung der letzteren, alle echten Secretionen mächtig fördernden Gifte für eine den secretorischen sehr ähnliche Function des wichtigen Deckepitheliums der Sehzellen.

---

1 FR. HOLMGREN, Ueber Sehpurpur und Retinaströme. Unters. aus dem physiol. Instit. z. Heidelberg II. S. 81.

2 O. LANGENDORFF, Arch. f. Anat. u. Physiol. Physiol. Abth. 1877. S. 437.

3 W. C. AYRES und W. KÜHNE, Ueber Regeneration des Sehpurpurs beim Säugethiere. Unters. aus dem physiol. Instit. z. Heidelberg II. S. 215. Mehrere der im Texte angeführten Thatsachen nach noch unpublicirten Beobachtungen von W. C. AYRES.

DRITTES CAPITEL.

Bedeutung der photochemischen Processe für das Sehen.

I. Optochemische Hypothese.

Insofern photochemische Hypothesen des Sehens zunächst photochemische Processe in der Retina voraussetzen, ist denselben durch die zahlreichen, vom Lichte abhängigen, unzweifelhaft chemischen Vorgänge in der Netzhaut eine thatsächliche Grundlage gegeben und damit dem ersten Erfordernisse für das weitere Eindringen in den wunderbaren Uebergang objectiver Aetherbewegung zu schliesslich subjectiver Lichtempfindung genügt. Um hier Boden zu fassen, ist es unerlässlich die bis jetzt bestandenen allgemeineren Vorstellungen, welche nur bis zur Annahme eines photochemischen Gliedes in der ganzen Vorgangskette zwischen Ankunft des Lichtes und Anfang der nervösen Erregung gehen konnten, greifbar zu gestalten und sowohl in zeitlichem wie in örtlichem Sinne zu präcisiren.

Da die heutige allgemeine Nervenphysiologie nach der Ueberzeugung Aller im Begriffe steht, neben der Nervenphysik eine Nervenchemie zu entwickeln und Niemand an der wesentlich chemischen Natur des Leitvorganges in der Nervenfaser, sowie aller Hauptverrichtungen in der Nervenzelle zweifelt, so ist dies auch auf den retinalen Leitapparat zu übertragen. Die chemische Veränderlichkeit der grauen Retinasubstanz wäre daher in einer allgemeinen Nervenchemie zu erörtern, und ist hier besonders nicht am Platze, weil es sicher ist, dass das Licht keine directe Beziehung dazu hat und weil ihre Berücksichtigung von der Hauptfrage der phototropen Vorgänge ablenken würde.

Sinnesorgane bestehen peripherisch vorwiegend aus Nervenenden in Epithel und dieses ist verschieden je nach dem Reize, von welchem es am leichtesten getroffen wird. Mit der Epithelzelle, in deren Protoplasma die leitende Nervenfaser, wie es scheint unter allmählichem Wandel ihrer chemischen Structur übergeht, erhielt der Nerv im Gehörorgan eine auf mechanische Erschütterung leicht ansprechende Endbildung, im Riech- und Schmeckepithel durch gewisse chemische Einflüsse geradezu unglaublich veränderliche Endapparate,

in der Netzhaut die phototrope Einrichtung. Hier anknüpfend erachtet die optochemische Hypothese die Sehzellen als Träger photochemisch zersetzlicher Stoffe, die daselbst als Sehstoffe[1] zu bezeichnen sind und nimmt von diesen so lange keine Fähigkeit an, den irritablen Theil der Sehzellen, welcher durch das Protoplasma des Innengliedes vorgestellt wird, chemisch zu erregen, als sie unzersetzt bleiben. Dagegen schreibt die Hypothese den Zersetzungsproducten, deren Auftreten mit dem Zugange des Lichtes begonnen, das Vermögen zu, Sehzellenprotoplasma chemisch zu reizen und bezeichnet jene Producte als Sehreger. Sehpurpur ist darnach ein Sehstoff, dessen Sehreger Sehgelb und Sehweiss sind. Der Reiz könnte zwar auch in dem Umwandlungsprocesse der Sehstoffe gesucht werden[2], da dieser aber höchst wahrscheinlich mit dem Momente der Entziehung des Lichtes abschliesst, während das Auge an Nachempfindung bekanntlich jedes andere Sinnesorgan überbietet, scheint die, wenn man will, mehr stoffliche Auffassung des Erregungsmittels den Vorzug zu verdienen.

Indem wir die bis jetzt erkannten chemischen Veränderungen der Netzhaut heranziehen, ist zunächst und nachdrücklichst Gewicht auf deren ausschliessliche Abhängigkeit vom Lichte zu legen. Durch welche Mittel der Sehpurpur sonst zersetzlich sein möge, im Auge und unter allen einigermaassen natürlichen Verhältnissen wird er durch keine andern Einflüsse afficirt oder von seinem Platze entfernt (vergl. oben S. 298); es kann also gar nicht daran gedacht werden seine Zersetzung etwa mit der in Muskeln, Nerven oder andern irritablen Dingen als Folge von Reizung und Thätigkeit eintretenden chemischen Veränderung, wie der Säuerung z. B. zu vergleichen. In der sehenden Netzhaut ist die photochemische Zersetzung des Sehstoffes der erste Vorgang, welchem der Reiz erst folgt.

Um einen Bestandtheil der Netzhaut als Sehstoff anzusprechen, genügt es nicht, dass er lichtempfindlich sei, während andererseits die Zersetzlichkeit eines solchen durch Licht minimal und doch für seine Zwecke genügend sein könnte. Der gelbe Farbstoff der Macula lutea ist in mittlerem Grade lichtempfindlich, kann aber nicht für einen Sehstoff gelten, weil er nur in den vorderen Schichten, nicht in den Sehzellen vorkommt. Hier findet sich also schon ein retinaler Farbstoff ohne die Bedeutung eines Sehstoffes, dessen Lichtem-

---

1 Der sehr zweckmässige Name „Sehstoff“ wurde von S. Exner eingeführt; vgl. Arch. f. d. ges. Physiol. XVI. S. 409.

2 In dieser Weise ist die optochemische Hypothese zuerst von J. Bernstein (a. a. O.) ausgesprochen.

pfindlichkeit zunächst so gut übergangen werden kann, wie etwa die der Gallenpigmente, und dessen Bleichungsproducte gewiss nicht als Sehreger fungiren, womit natürlich nicht gesagt ist, dass dieselben nicht solche werden könnten, wenn sie an den richtigen Platz d. h. in die Sehzellen gelangten. Das Lipochrin der gelben Oelkugeln einiger Retinaepithelien und das Fuscin aller retinalen Pigmentepithelien sind Beispiele für z. Th. zwar schwer durch Licht zersetzliche Materien in der Netzhaut, die sich ebenfalls an einem Orte befinden, der für das directe Sehen kaum in Frage kommt, so gross ihre Bedeutung für diffuse Lichtempfindungen und namentlich nach dem Lichtreize sein könnte. Als dritten Fall sehen wir besonders bei den Vögeln in den Sehzellen und zwar nur in den Zapfeninnengliedern Pigmente mittlerer Lichtempfindlichkeit, von der aber im lebenden Auge nicht einmal Andeutungen zu bemerken sind, da sich die Farben nach Blendungen sogar vertiefen. Hier entsteht die Frage, ob Pigmente in der Netzhaut nicht überhaupt wesentlich die Bedeutung haben, nur Licht gewisser Wellenlängen als Angriffsmittel an hinter ihnen liegende, phototrope Theile gelangen zu lassen, eine Function, welche M. Schultze den farbigen Zapfenkugeln zuerst zuschrieb. Damit ist ein Gedanke bezeichnet, der mit gleichem Rechte auch auf den Sehpurpur passen könnte, den seine eminente Lichtempfindlichkeit noch keineswegs vor dem Verdachte bewahrt, kein Sehstoff, sondern nur ein für hinreichend intensives Licht veränderlicher Farbenschirm zu sein, was für mit ihm gemischte, ebenfalls in den Stäbchencylindern befindliche, wirkliche Sehstoffe die grösste Bedeutung haben könnte. Die optochemische Hypothese kann mit der Annahme von Sehstoffen und Sehregern das Richtige treffen, ohne dass der Purpur ein Sehstoff zu sein braucht. Der Sehpurpur ist also nicht sicher eines Tages seinen Namen gegen den weniger präjudicirenden „Stäbchenpurpur" eintauschen zu müssen, wenn die heute von ihm ausgehenden Hoffnungen sich zwar erfüllen, aber, wie es so oft geschieht, in ganz anderer Richtung bewahrheiten sollten. Wenn man erwägt, wie die Hypothese, dass die Erregung der Netzhaut durch Licht auf chemischer Reizung beruhe, schon für bewiesen erklärt worden, als man noch nicht einmal wusste, dass hinter der langsamen Netzhautbleiche von der Sonne geblendeter Frösche locale Lichtwirkung stecke, und als es noch zweifelhaft war, ob die Stäbchenfarbe keine Interferenzfarbe sei[1], so scheint ein Wort der Warnung vor solchen Täuschungen um so berechtigter, als es heute, da wir photochemische Processe in der Retina wirklich kennen, noch am Platze ist.

1 Vgl. Kunkel, Arch. f. d. ges. Physiol. XV. S. 38.

1. *Sehen ohne Sehpurpur.*

Unzweifelhaft wird ohne Sehpurpur gesehen, denn noch wurde bei keinem sehenden Wirbellosen Sehpurpur gefunden und Niemand bezweifelt, dass die Zapfen sehen, welche ohne Ausnahme purpurfrei sind. Dass Zapfen Alles sehen, was für uns sichtbar ist, wissen wir, weil wir mit der Fovea centralis, die nur Zapfen enthält, sogar am besten sehen; auch diese, fast nach Stäbchenart, mit langen schlanken Aussengliedern versehenen Zapfen sind nach langem Dunkelaufenthalte frei von Sehpurpur und völlig farblos (vgl. S. 290). Ausserdem giebt es auch Stäbchen ohne Sehpurpur, wie bei Hühnern und Tauben, bei einigen Fledermäusen und im Umkreise der Ora serrata. Von diesen wissen wir freilich nicht, ob sie sehen, müssen es aber für einen Theil derselben wol als sehr wahrscheinlich voraussetzen. Fasst man die Frage allgemeiner, ob es Sehorgane gebe ohne alle Farbstoffe, so muss auch diese bejaht werden, weil die Zapfen in der Thierreihe zum grossen Theile pigmentlos sind und weil bei den Schlangen Augen existiren, die nur farblose Zapfen, gar keine Stäbchen enthalten. Will man noch weiter gehen und die Frage bis auf das Retinaepithel ausdehnen, so bleibt die Antwort, unter Berufung auf die Zapfen albinotischer Geschöpfe und auf solche, welche vor einem Tapetum stehen, die nämliche; bei albinotischen Menschen, die in genügend gedämpftem Lichte gut sehen, liegt in der Fovea ein vollkommenes Sehorgan vor, das weder vor noch hinter sich irgend etwas Farbiges besitzt, da sich das vordere Gelb der macula lutea nur bis zum Rande der Grube erstreckt. Die optochemische Hypothese ist hiernach unbedingt auf die Annahme auch farbloser Sehstoffe angewiesen.

In den meisten Augen sind es zweierlei Sehzellen, die sich am Sehen betheiligen, die Stäbchen und die Zapfen und für diese ist zunächst festzustellen, ob sie noch sehen, wenn der Purpur verschwunden ist. So wahrscheinlich dies für das menschliche Auge sein mag, welches darüber sicher entscheiden müsste, so wenig lässt es sich nachweisen. Wir sind ausser Stande die Stäbchenfarbe im lebenden Auge des Menschen mit dem Augenspiegel zu constatiren. O. Becker[1] versuchte vergeblich Unterschiede der rothen Leuchtfarbe des Augengrundes vor und nach der Einwirkung von Licht, dem man die Bleichung glaubte zutrauen zu müssen, zu erkennen und überzeugte sich an Thieraugen, auf deren Netzhaut ein sehr deutliches, nachträglich

---

1 O. Becker a. a. O.

bei der Section gefundenes Optogramm erzeugt worden, dass purpurhaltige und purpurfreie Stellen weder vor dem pigmentirten, noch vor dem albinotischen Augengrunde auf der blutführenden Fläche ophthalmoscopisch zu unterscheiden seien, womit die Frage nach der Sichtbarkeit des Sehpurpurs in situ und im lebenden uneröffneten Auge ein für alle Male verneinend entschieden ist. Da es v. BEZOLD und ENGELHARDT[1] nicht gelang, mit Hülfe der von ihnen erfundenen, zur farbigen Beleuchtung und zur Erkennung von Farben vorzüglichen ophthalmospectroskopischen Einrichtung andere Lichtabsorption, als die vom Blute bedingte im Augengrunde zu finden, so werden auch die Hoffnungen die An- oder Abwesenheit des Purpurs beim lebenden Menschen etwa auf Umwegen zu constatiren, sehr gering. Zwar gelang es A. EWALD[2] ähnlich wie TAIT[3] und BOLL[4] des Morgens beim Erwachen eine Andeutung des eigenen Purpurs entoptisch wahrzunehmen und durch die Lage des rosenfarbenen Hofes um den, von ihm zuerst entoptisch gesehenen, gelben Flecken, welcher der Macula lutea entsprach, zu beweisen, dass die Wahrnehmung vom Sehpurpur herrührt, die Erscheinung ist jedoch zu flüchtig und zu schwer erreichbar um sie als Prüfungsmittel zu verwenden. Meine an zahlreichen frischen menschlichen Augen gewonnenen Erfahrungen machen es wahrscheinlich, dass die, isolirt freilich keinem thierischen Sehpurpur an Lichtempfindlichkeit nachstehende Netzhautfarbe des Menschen, im Leben bedeutend resistenter ist, als bei allen bis jetzt darauf untersuchten Thieren, so dass erheblich kräftigere regenerative Vorgänge für den Menschen vorauszusetzen sind.

An Thieren ist es leicht zu entscheiden, dass sie mit ausgeblichener Netzhaut noch sehr gut sehen und selbst Farben erkennen. Gründlich besonnte Frösche fangen im Sonnenscheine Fliegen mit sicherem Sprunge, was ein augenloser Frosch niemals thut und wenn man sie unter einen halb blauen, halb grünen Glasdeckel setzt, unter welchem sich der Sehpurpur nicht regenerirt, sondern vorhandener in gleicher Zeit ausbleicht, so suchen die Thiere nach einigen Minuten mit erstaunlicher Constanz und mit Ueberwindung erheblicher, in den Weg gelegter Hindernisse die ihnen am meisten zusagende grüne Belichtung auf. Damit wird freilich nicht entschieden, ob ihre farblos gewordenen Stäbchen noch sehen, weil sie Dasselbe vermuthlich mit ihren Zapfen allein erreichen würden; wenn man aber

1 ENGELHARDT a. a. O.

2 A. EWALD, Ueber die entoptische Wahrnehmung der Macula lutea und des Sehpurpurs. Unters. aus dem physiol. Instit. z. Heidelberg II. S. 241.

3 TAIT, Edinburgh. Proceedings VII. p. 605. 1869—70.

4 BOLL Arch. f. Anat. u. Physiol. a. a. O.

Kaninchen, welche keine Zapfen oder keine purpurfreien Sehzellen zu besitzen scheinen, mit völlig ausgeblichener Netzhaut, beim Aufenthalte im Lichte beobachtet, so überzeugt man sich, dass sie ganz gewiss sehen. Sie fallen nicht von einem hohen Brette ohne Sprung herunter, stürzen im Laufe nicht gegen Hindernisse oder in senkrecht abfallende Gruben, wie es blinden Kaninchen begegnet und sind im Stande über lange schmale Latten zu laufen, von welchen blinde gleich herabgleiten. Dies dürfte es sehr wahrscheinlich machen, dass auch Stäbchen ohne Sehpurpur sehen und man würde daher in diesem Augenblicke Niemanden widerlegen können, der behauptete der Sehpurpur sei gar kein Sehstoff. Die optochemische Hypothese ist also genöthigt auch in den Stäbchen farblose Sehstoffe anzunehmen, womit natürlich nicht gesagt wird, dass ein unter gewissen Bedingungen in den Stäbchen vorhandener gefärbter Körper, wie der Purpur, kein Sehstoff sei.[1]

2. *Hypothese mehrfacher Sehstoffe.*

Nur mit dem Gehörorgane theilt das Auge die Eigenthümlichkeit auf Erregungen geradezu colossaler Intensitätsdifferenzen im gewöhnlichen Gebrauche reagiren zu müssen. Wir sehen und unterscheiden Licht verschiedener Wellenlängen und erkennen an diesem, wie am gemischten Lichte Intensitätsdifferenzen mit grösster Feinheit; wenn dieses Vermögen über und unter gewissen Grenzen auch merklich abnimmt, so ist doch der Spielraum innerhalb jener Grenzen ein enormer und die Anwesenheit feiner Empfindung bei äusserst schwachem Lichte unmittelbar nach ausserordentlich kräftiger Belichtung zweifellos. Dass solchen Aufgaben ein einzelner, elementarer Sinnesapparat gewachsen sei, ist schon schwer begreiflich, ganz unbegreiflich aber würde es sein, wenn er denselben mit einem einzigen Mittel, oder mit einem Sehstoffe genügte. Wir können uns die chemische Veränderlichkeit oder Erregbarkeit des Sehzellenleibes so gross vorstellen, dass sie nur durch den Vergleich mit der den Riechzellen des unglaublich feinspürigen Geruchsorgans

---

1 Holmgren (Unters. a. d. physiol. Inst. z. Heidelberg a. a. O.) fand, dass durch Licht entpurpurte Augen des Kaninchens bei erneuter Belichtung noch Schwankungen der electrischen Retinaströme zeigen und schliesst daraus, sowie aus der electromotorischen Unwirksamkeit abgestorbener oder alaunisirter, purpurhaltiger Augen während der Lichtbleiche, dass der Sehpurpur mit dem Sehen nichts zu schaffen habe. Auf die erstere Thatsache finden dieselben Betrachtungen Anwendung, wie die auf das Sehen ohne Sehpurpur bezüglichen, während die letztere Beobachtung ausserhalb der Discussion steht, da weder eine electrische Wirkung von dem chemischen Processe der Rhodopsinbleiche an sich vorauszusetzen, noch das Herkommen der Retinaströme von den Sehzellen nachgewiesen ist.

mancher Thiere zukommenden, einigermaassen fassbar wird und würden es dann verständlich finden, wenn ein Sehstoff etwa von der geringen photochemischen Zersetzlichkeit des Fuscins zum Sehreger dafür würde. Andererseits können wir von der erstaunlichen Zersetzlichkeit des Sehpurpurs am Lichte ausgehen und es sehr begreiflich finden, wie äusserst schwaches Licht unter Benutzung dieses fein rea girenden Mittels das Sehzellenprotoplasma chemisch erregend trifft. Was wir uns aber nicht vorstellen können ist, dass ein Sehstoff von den Eigenschaften des Sehpurpurs das Mittel sei, welches ein so hoch empfindliches Protoplasma bei intensiverem Lichte bedürfe oder brauchen könne, ohne in verderblich maximale Erregung zu gerathen, wenn nicht die für den gerade jetzt entstandenen Sehreger vorhandene Erregbarkeit eine relativ geringe ist. Damit sind wir wieder auf die Hypothese mehrfacher Sehstoffe und ebensovieler, daraus entsprungener Sehreger geführt. Immerhin brauchen die Erregbarkeitsunterschiede gegen chemisch verschiedene Sehreger keine sehr grossen zu sein, denn das Auge verträgt bekanntlich allmählich gewöhntes und dann sehr angenehmes Licht, äusserst schlecht, wenn es plötzlich nach längerem Dunkelaufenthalte dazu gelangt und nachdem sich der vermuthlich zersetzlichste aller Sehstoffe, nämlich der Sehpurpur in grosser Menge darin angehäuft hat. Wir wissen was es heisst, ein wirklich ausgeruhtes Auge plötzlich dem gewöhnlich gebräuchlichen oder selbst viel schwächerem Lichte auszusetzen, da widerwärtige Blendung und Unfähigkeit zu weiterem Sehen die nächste Folge sind.

II. Phototrope Erregungen in der Netzhaut.

Irritable Gewebe durch bleichenden Sehpurpur zu reizen wurde vergeblich versucht. Gebleichte Frosch- und Säugernetzhäute schmecken auf der Zunge zerdrückt ebenso indifferent, wie purpurne. Muskeln und Nerven mit dem Querschnitte der purpurnen Stäbchenschicht angeschmiegt, werden nicht erregt, wenn plötzlich Sonnenlicht zutritt und sind nicht mittelst Purpurcholatlösungen während und durch deren Bleichung zu reizen, wenn die Galle verdünnt genug ist, um an sich keine Erregung zu veranlassen. Auf die Haut reflexempfindlicher Frösche mit der Stäbchenseite gelegte Retinae erzeugen beim Zutritte des Lichtes keine Reflexbewegungen.

Nach diesen negativen Befunden und während so wenig Aussichten vorhanden sind, eine nur durch den Purpur vermittelte Erregung im Auge nachzuweisen, wie gegenwärtig, ist um so mehr Gewicht auf ein auch vom Lichte abhängiges Reizungs- und Bewegungs-

phänomen im Netzhautepithelium zu legen, das die ersten Andeutungen objectiv erweislicher, photochemischer Reizung nicht nur für das Auge, sondern für die gesammte organisirte Natur enthält. Die Erscheinung gehört dem Pigmentepithel an.

Das von BOLL zuerst an belichteten Froschaugen bemerkte Ausschlüpfen der Retina im zerfetzten und epithelbedeckten Zustande beruht nicht auf einer Consistenzveränderung oder Erweichung der Membran, welche von BOLL[1] angenommen, aber schon (vergl. oben S. 301) widerlegt worden, sondern auf der von CZERNY[2] zuerst vermutheten Beweglichkeit des Protoplasmas der retinalen Epithelzellen und deren Fortsätze. Nachdem ich auf das Umherwandern und auf die „Abschichtung" der Fuscinnadeln zwischen den Stäbchen der lebenden Netzhaut im Zusammenhange mit der Belichtung und den restitutiven Vorgängen nach der Belichtung[3] aufmerksam gemacht, und BOLL sich dieser Auffassung im Wesentlichen wortgetreu[4] angeschlossen hatte, gelang es durch sichere Methoden diese merkwürdigen Vorgänge genauer zu ermitteln und ihre Abhängigkeit von einer grösseren Anzahl das Auge treffender Einflüsse festzustellen.

Ausser der directen Betrachtung in gewöhnlicher Weise, nach Lockerung der Opticusverbindung, unversehrt ausschlüpfender Netzhäute sind hier Scheerenschnitte durch die gesammten, in situ erhaltenen Gewebe des Augengrundes und feinste meridionale Durchschnitte gehärteter Froschaugen zu verwenden. Die Härtung darf nicht in Alkohol geschehen, welcher meist vollkommen unnatürliche Trennungen des Epithels von den Stäbchen, unter Einschrumpfung der Fortsätze gegen den Zellenleib, wie dieselbe im Leben niemals vorkommt, erzeugt, sondern wird mittelst der H. MÜLLER'schen Mischungen aus Natriumbichromat und Natriumsulphat und nachträglicher Alkoholbehandlung bewirkt. Die Uebereinstimmung des Befundes an Scheerendurchschnitten und Umschlagrändern frischer Netzhäute, mit dem an so gehärteten Objecten bürgt für die Erhaltung der natürlichen Verhältnisse nach der genannten Behandlung.

Abschichtungen im Epithelprotoplasma.

Im Allgemeinen ist der Satz: belichtete Netzhäute bleiben leicht vom Epithel bedeckt, während dunkel gehaltene gewöhnlich pigmentfrei ausschlüpfen, richtig, aber er drückt weder den ganzen Sachverhalt

1 BOLL, Monatsber. d. Berliner Acad. 1877. 11. Jan. Zusatz vom 15. Febr.
2 CZERNY, Sitzgsber. d. Wiener Acad. LVI.
3 W. KÜHNE, Ueber den Sehpurpur a. a. O. I. S. 21 u. 101.
4 Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. S. 408 Autoreferat, und Arch. f. Anat. u. Physiol. a. a. O.

aus, noch bezeichnet er alle wesentlichen Bedingungen, unter welchen epithelfreie und epithelführende, schwarze und ungeschwärzte Netzhäute aus dem Bulbus kommen. Hinsichtlich des Verhaltens der Stäbchen- und Epithelschicht ist Folgendes zu unterscheiden: 1. das Haften der beiden Schichten aneinander[1], 2. die Vertheilung des Fuscins in den Epithelzellen und ihren Fortsätzen, 3. die Gestalt und Lage der Fortsätze, 4. der Schwellungsgrad der Stäbchen. Von Einfluss hierauf sind 1. das Licht, 2. die Temperatur, 3. ödematöse Zustände, 4. der Tod oder die Exstirpation des Bulbus. Um den Einfluss von Licht und Dunkelheit möglichst klar herauszuschälen gedenken wir zuerst der übrigen wirksamen Einflüsse. In jedem Froschauge, das 1/4—1/2 Stunde im abgeschnittenen Kopfe, oder exstirpirt und feucht erhalten verweilte, haftet das Epithel ungefähr zu der Zeit, wo der Bulbus sichtlich an Spannung verloren, fest an der Stäbchenschicht. Fig. 9a zeigt den Durchschnitt aus dem ganz frisch gehärteten Auge eines im Dunkeln gehaltenen, mit Curare vergifteten, nicht ödematösen Frosches, Fig. 9b von demselben Frosche, dessen Auge eine Stunde nach der Exstirpation gehärtet worden. Wie man sieht ist das Pigment während der Entwicklung des Haftens in grösserer Menge nach vorn gewandert und mit kleinen Antheilen selbst zwischen die Innenglieder der Stäbchen, bis an die M. limitans ext. vorgeschritten.

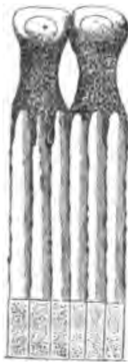
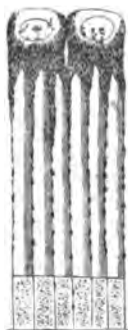

Fig 9a.

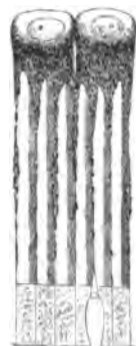

Fig. 9b.

Bei Dunkelfröschen entwickelt sich das Haften des Epithels auch im Leben, wenn die Temperatur niedrig ist, bei 0° in der Regel auf der ganzen Membran, bei etwas höheren Temperaturen mehr theilweise und seitlich, oft nur in einem Quadranten bis zum Centrum der Retina reichend. Das Abkühlen ist kein so sicheres Mittel, wie das Liegenlassen der exstirpirten Bulbi; in der ersten Stunde wirkt es besser, als bei längerer Dauer. Fig. 10 von einem in Eiswasser gehaltenen Dunkelfrosche, zeigt mit der vorigen Fig. verglichen, das Pigment spärlich zwischen den Stäbchen verbreitet und kein Fuscin zwischen den Innengliedern. Hier ist das Haften also von der Pigmentver-

1 Hierzu ist zu bemerken, dass Retinae mit fester verbundener Epithel- und Stäbchenschicht auch in der Regel stärker an der Chorioïdea adhäriren, und dass sie mit grösserer Vorsicht, als andere von dieser abgehoben werden müssen, schon weil sie am meisten geneigt sind die Epithelkuppen oder deren Hüte im Augengrunde zurückzulassen.

breitung unabhängig und könnte auf innigerer Verklebung farbloser Epithelfortsätze mit den Stäbchen oder auch darauf beruhen, dass die Fortsätze resistenter geworden und schwerer zerreissen. Wie sehr die Abkühlung trotz einzelner beobachteter Unregelmässigkeiten das Haften befördert, erhellt am besten daraus, dass es noch in demselben Sinne wirkt, wenn ausser dem Dunkelaufenthalte noch ödematöse Zustände, welche unter allen Verhältnissen am meisten zur Lockerung der betreffenden Schichten beitragen, im entgegengesetzten Sinne wirken. Fig. 11 zeigt, wie dann das Pigment vertheilt ist: es reicht zwar selten weit nach vorn, ist aber in ziemlicher Menge, etwa in der Mitte der Stäbchenhöhe, in Gestalt spindelförmiger Figuren angehäuft. — Das Curareödem mit der gleichwirkenden Temperaturerhöhung auf etwa 30° C. combinirt erzeugt bei Dunkelfröschen, trotz der überaus beförderten Lockerung der Netzhaut von der Epithelschicht, weiteres Vorschreiten des Pigmentes zu den Innengliedern, unter Auftreten ganz schmaler, aus Fuscinnadeln gebildeter Reihen zwischen den Stäbchen an deren ganzer Länge: vergl. Fig. 12. Diese Fortsätze der Epithelzellen reissen aber sehr leicht kurz vor ihrer Wurzel ab. Lockerung erzeugt das Oedem, besonders in der Wärme, ausserdem an besonnten Fröschen mit gebleichten Stäbchen, und wie Fig. 13 zeigt, indem nur geringe Pigmentmengen zwischen den Stäbchen bleiben, von welchen ein sehr kleiner Theil auch zwischen den Innengliedern liegt.


Fig. 10.


Fig. 11.

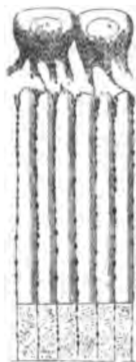

Fig. 12.


Fig. 13.

Hiermit sind die Mittel bezeichnet, die es giebt um das Epithel, den Einflüssen des Lichtwechsels entgegen, bei Dunkelfröschen haftend, bei Hellfröschen gelockert zu erhalten. Entspricht unter jenen Mitteln das Curareödem auch keinem natürlichen Zustande, so ist die Bekanntschaft mit seiner Wirkung doch sehr wichtig, weil die Curarelähmung für methodische Belichtungsversuche unumgäng-

lich ist und weil die bei besonnten Fröschen unvermeidliche Berieselung oft unabsichtlich zu Oedem führt. Welche Vortheile von dem Kunstgriffe, belichtete Netzhäute mittelst des Oedems epithelfrei zu erhalten, zu erzielen sind, erhellte schon früher. — Der Einfluss der Temperatur muss selbstverständlich bekannt sein, um überhaupt den Gegensatz des Epithelverhaltens im Dunkeln gegen das im Lichte erfassen zu können; was im Folgenden über den letzteren besonders wichtigen Unterschied mitgetheilt wird, bezieht sich daher auf Versuche, die bei möglichst gleicher Temperatur von etwa 20° C. angestellt wurden.

A) Verhalten des Pigmentepithels bei Dunkelfröschen.

Hier löst sich die Netzhaut leicht und vollkommen von der Epithelplatte ab. Gleichwohl sieht man an Schnitten gehärteter oder an Scheerenschnitten frischer Augengründe das Pigment in starken, kegelförmigen Massen zwischen die Stäbchen ragend, aber nicht weiter, als um etwa ein Drittel oder die Hälfte ihrer Länge. Zwischen den Innengliedern findet sich kein Pigment, auch nicht wo daselbst Zapfen auftreten. Die im Augengrunde zurückgebliebenen Epithelien, in Glaskörper, in dünnem Salzwasser oder in OsO_4 untersucht, zeigen sich mit entsprechend kegelförmigen, dunklen Fortsätzen behaftet, die in lange feine, fuscinfreie Fäden übergehen, welche theilweise so lang scheinen, dass sie gewiss bis zu den Stäbcheninnengliedern oder bis an die M. limitans ext. reichen würden. Trotz der lockeren Verbindung sendet also das Retinaepithel seine Ausläufer so tief in die Sehzellenschicht, wie nur je an einer untrennbar haftenden, mit dem grossen Unterschiede jedoch, dass jene Fäden nur an der Wurzel Fuscinnadeln enthalten und nach vorn keine Anschwellung besitzen. Unter diesen Umständen, zu welchen noch der in Betracht kommt, dass die Stäbchencylinder im Dunkeln den kleinsten Querdurchmesser besitzen, wird es begreiflich, dass die Zellen mit ihrem Barte leicht aus ihrer natürlichen Behausung entfernbar sind. Im Zellenleibe findet sich die Basis dicht gefüllt mit Pigment, das bis an die vordere Fläche des Kerns reicht und nur am Rande etwas in die Kuppe emporsteigt. Falls Abkühlung die Vertheilung des Fuscins im Zellenleibe nicht ändert, muss man aus dem Ansehen unbelichteter, gegen die Regel mit dem Epithel ausgeschlüpfter Netzhäute schliessen, dass die Stäbchenkuppen hier wenig vom Fuscin bedeckt werden, denn man sieht wenigstens die centralen Theile der Netzhaut und auch wol eine mehr peripherische, halbmondförmige Stelle, trotz des tief sammetschwarzen Aussehens bei schräger Stellung zum eigenen Auge,

recht so beschaffen, wie eine gläserne, durch schwarzen Flor geschlagene Bürste, wenn man senkrecht darauf blickt.

B) Verhalten des Pigmentepithels bei belichteten Fröschen.

Sind die Stäbchen durch Licht entfärbt, so fällt ausser dem Haften der Epitheldecke, in der Stäbchenschicht nach dem Abschaben jener, noch das tiefe Hineinragen dicker Pigmentschnüre und spindelförmiger Haufen von Fuscinnadeln auf, in Folge welcher die Membran stark grau oder braun tingirt aussieht. Es hat sich hier Vieles geändert: die Basis der Epithelzellen hat viel Fuscin auf Kosten der Füllung ihrer Fortsätze verloren, die ursprünglich kegelförmigen Pigmenthaufen in den Wurzeln der Fortsätze sind fast ganz verschwunden und in Gestalt spindelförmiger Anhäufungen an die vordere Hälfte der Stäbchencylinder gerückt, während ein Theil des Fuscins bis an die M. limitans vorgeschritten ist. Was im Zellenleibe vom Fuscin zurückgeblieben ist, hat sich dort anders gelagert und zwar so, dass die Stäbchenkuppen zum Theil mehr davon bedeckt werden, als im Dunkelauge; die ganze Retina sieht daher von der Epitheldecke betrachtet besonders dunkel aus, indem viel weniger Licht durch die Axen der Stäbchen in die Kuppen der Epithelzellen dringt. Wie ich es zuerst erklärte, finden also während des Lebens die auffallendsten Wanderungen des Pigmentes innerhalb der Epithelzellen und ihrer Fortsätze statt, wobei es sich in wechselnder Weise abschichtet. In dem eben beschriebenen Zustande findet man die meisten aus früherer Zeit stammenden Schnittpräparate der Retina mikroskopischer Sammlungen, an welchen gewiss schon Mancher die doppelte Pigmentzone bemerkte, deren eine der Basis der Zellenleiber entspricht, während die andere den vorderen spindelförmigen Fuscinhaufen in den Zellfortsätzen zwischen den Stäbchen angehört. Nach solchen Umlagerungen muss das Epithel der Stäbchenschicht offenbar fest anhaften, da jeder Zellfortsatz zwischen den Stäbchen mit einem Riegel versehen ist, der die Entfernung seiner weichen Masse verhindert und ihn bei Anwendung von Gewalt eher abreissen, als dieser folgen lässt. Nach längerer Belichtung kommt hierzu in der Schwellung der Stäbchen (vergl. oben S. 310) ein weiterer Umstand, der im gleichen Sinne wirken muss, weil die Epithelfortsätze jetzt fester in die verschmälerten Stäbchenzwischenräume eingeklemmt werden. Ist die Belichtung bei



Fig. 14.

0^0 erfolgt, so wird das Haften nicht wesentlich befördert und von Durchschnitten der Retina das Fig. 14 dargestellte Bild erhalten, welches für alle Hellretinae charakteristisch ist.

Das Haften des Epithels und die Einlagerung grösserer Fuscinmengen zwischen den vorderen Antheilen der Stäbchen nehmen durch Lichtentziehung allmählich ab und es stellen sich dann ähnliche Verhältnisse, wie die für das Dunkelauge angegebenen nach etwa 1—2 Stunden her. Dies stimmt so auffällig mit der Zeit, deren die Stäbchen bedürfen um den maximalen Purpurgehalt wieder zu gewinnen, dass der Gedanke nahe liegt, die Veränderungen am Epithel durch Licht mit der Purpurbleichung sowohl, wie mit der darauf folgenden regenerirenden Thätigkeit der Epithelzellen in Verbindung zu bringen. Damit wird allerdings das Richtige höchst wahrscheinlich getroffen, aber es darf deshalb nicht geschlossen werden, dass etwa Bleichung oder Rückkehr des Purpurs immer merklich sein müssten, um die genannten Epithelzustände zu finden.

Um die directe Beziehung des Lichtes zu den Vorgängen im Epithel aller Zweifel zu entheben, ist glücklicher Weise wieder die optographische Methode verwendbar, welche hier zu einer eigenthümlichen Art von Optogrammen führt, die beim Frosche oft unerwünscht leicht erhalten werden. Ist das Licht bei der früher (S. 301) beschriebenen Optographie am Frosche zu intensiv und die Expositionszeit kurz, so kommt die Netzhaut mit den schärfsten negativen, in schwarz und roth ausgeführten Optogrammen zu Tage, die man ohne Weiteres durch Antrocknen im Lichte für lange als schwarzweisse Bilder fixiren kann. Natürlich ist zur Erzielung dieser epithelialen Optogramme Benetzung der Curarefrösche zu vermeiden, damit kein Oedem die Befestigung des Epithels hindere. Man erhält solche Bilder am sichersten in etwa 20 Min., wo eine mit schwarzen Streifen versehene, matte Glastafel zum Objecte diente, auf welches directes Sonnenlicht fiel.[1]

Wenn Frösche bei mittlerer Temperatur auf dem Boden eines Topfes, im gedämpften Lichte geschlossener Räume einigermaassen ruhig sitzen, ist ihre Retina oft nur zu etwa $^3/_4$ epithelfrei und im übrigen Quadranten von dunklem Epithelsammet bedeckt zu erhalten, einer unteren Gegend des Auges entsprechend, mit welcher der

1 Gute Andeutungen epithelialer Optogramme entstehen im Froschauge auch unabsichtlich, denn wenn man Stäbchen- oder Purpuroptogramme mit oder ohne Oedem erzeugt hat, bleiben diese in Folge nachträglichen Verwischens durch Licht oft noch zu negativen verkehrt bestehen, indem die im Leben gebleichten Bänder jetzt vor den übrigen durch zwischen den Stäbchen gebliebene Fuscinreste grau tingirt, zuweilen recht scharf zum Vorschein kommen.

Frosch gegen die hellen Fenster blickte. Unter den Epitheldecken sind die Stäbchen entweder kaum verändert, oder in andern Fällen roth, orange oder dunkel chamois. Die phototrope Epithelreaction beginnt also lange vor vollendeter Bleichung des Purpurs; sie ist vortrefflich bei mässigem, die Stäbchen nicht bleichendem Lichte, am besten entwickelt bei solchem, das die Stäbchenfarbe bis zu hellem Gelb bringt und dort weit ausgeprägter, als an gründlich besonnten Fröschen, wo sie dagegen bald nach begonnener Lichtentziehung das Maximum erreicht. Alle Belichtungen, welche die Regeneration dauernd in Anspruch nehmen und dem Gleichgewichtszustande zwischen Purpurbleiche und Wiederherstellung am günstigsten sind, wirken also am stärksten auf das Epithel. Nichts kann dies schlagender beweisen, als der Effect des rothen Lichtes, welches so mächtige Pigmententleerungen der Basis der Epithelzellen und so massenhaftes und weit nach vorn reichendes Wandern des Fuscins in die Stäbchenzwischenräume hervorruft, dass es den mehrfach erwähnten kräftigsten Lockerungsmitteln fast unmöglich wird, die Stäbchen von der Epitheldecke oder deren Ausläufern zu trennen. Fig. 15 zeigt den Durchschnitt des Sinnesepithels einer so behandelten Netzhaut. Wie zu erwarten ist die Erscheinung zu der Zeit, oder bei solchen Intensitäten der Rothbelichtung, welche den Purpur gerade normal erhalten, am meisten ausgeprägt, während sie, ähnlich wie nach übermässiger Besonnung, bedeutend nachlässt, wenn endlich andauernde Bleichung erzielt ist. Hieraus erklärt sich auch die früher bei der Optographie am Frosche mitgetheilte, anscheinend paradoxe Thatsache, dass Lockerung des Epithels bei belichteten Froschaugen ohne Oedem noch am besten erzielt wird, wenn die Ausbleichung allmählich, nach sehr langer Exposition an mässigem Lichte bewirkt worden: man empfängt den Eindruck, als ob diese Ausbleichung in Wirklichkeit keine so allmähliche sei, sondern in einem späten Stadium mit grösserer Geschwindigkeit zur vollkommenen Entfärbung gehe, wenn das lange regenerativ angestrengte Epithel in dieser seiner Function erlahmt, mit welcher Periode auch der Rückgang der phototropen Fuscinabschichtung zusammenzufallen scheint.


Fig. 15.

Wahrscheinlich kommt die phototrope Epithelreaction allen Wirbelthieren zu. Bei den Vögeln gelingt das Abheben der Netzhaut ohne Epithel fast immer, wenn die Thiere im Dunkeln verweilten, während die Membran aus frischen, belichteten Augen nahezu in ganzer Ausdehnung

dicht vom Pigment bedeckt ausschlüpft. Beim Kaninchen und dem Rinde ist ein stärkeres Haften nach Belichtung unzweifelhaft, wird aber durch Einlegen der frischen Augen in Alaun gehoben. Nur wenn die Augen $^1/_2$—1 Stunde nach dem Tode in den Alaun gekommen, bleibt an der gehärteten Netzhaut Pigment, das sich an Optogrammen vorzugsweise und oft sehr scharf begrenzt auf die belichteten Stellen beschränkt findet. Beim Hunde haftet das gelbliche Tapetalepithel frisch in Alaun gebrachter Augen in der Regel an den hellen Streifen des Optogramms. Für das Auge des Affen, dessen Retina nach keinem Dunkelaufenthalte vom Epithel trennbar gefunden wurde, bildet die Alaunhärtung ebenfalls das Mittel, vollkommen pigmentfreie Präparate zu erzielen. Aus menschlichen, in Eis conservirten Augen im Dunkeln Verstorbener schlüpfte die Retina vorwiegend pigmentfrei ab; in einem Falle, wo ein 2 Stunden im Dunkeln gehaltenes normales Auge, unmittelbar nach der Enucleation am Lebenden, untersucht wurde, war die Netzhaut unter Salzwasser mit grösster Leichtigkeit vollkommen pigmentfrei dem Augengrunde zu entnehmen. Nur die Augen eines im Hellen, mit weit geöffneter Pupille verstorbenen Menschen, lieferten bei fast normalem Purpurgehalte stellenweise stark und fest mit Epithel überzogene Netzhäute; in diesem Falle waren die Augen sofort nach dem Tode ins Dunkle versetzt worden und 24 Stunden in Eis conservirt.

Mussten die bis heute über den Sehpurpur erworbenen Erfahrungen die Frage nach erregenden, objectiv in der Netzhaut nachweislichen Wirkungen gänzlich unentschieden lassen, so liegt nun in der phototropen Reaction des Pigmentepithels eine unzweideutige Beantwortung vor, welche dem Lichte einen erkennbar erregenden Einfluss auf das Epithelprotoplasma zuschreibt. Unzweifelhaft werden die Fuscinnadeln erst in Folge von Bewegungen des Protoplasmas, in welches sie eingebettet sind, bewegt, und von diesem nur mitgeschleppt oder in seinem Innern umhergetrieben oder abgeschichtet, wie dergleichen in allem contractilen Protoplasma zu sehen ist, das erkennbare Körnchen, Pigmenttheilchen oder leicht zu unterscheidende, von Aussen eingeführte Dinge enthält. Viele solche, dem Auge gänzlich fremde Zellen zeigen ähnliche Reaction auf Licht, besonders wenn sie Pigmente enthalten, welche wie das Fuscin des retinalen Epithels, niedere Grade von Lichtempfindlichkeit besitzen, wofür die contractilen mit dem Lichte veränderlichen Pigmentzellen in der Haut des Frosches ein bekanntes, die des Chamäleon namentlich nach BRÜCKE's[1] Beobachtungen, die mancher Fische und vieler Wirbellosen noch bessere Beispiele liefern. Seit aus STRASBURGER's[2] Untersuchungen auch auf Licht reagirende Elementarorganismen be-

1 E. BRÜCKE, Wiener Denkschriften 1852.
2 E. STRASBURGER, Wirkung des Lichtes u. s. w. Jena 1878.

kannt sind, welche keine Farbstoffe enthalten, ist Lichtempfindlichkeit wol auch vom Protoplasma einiger farblosen thierischen Zellen zu erwarten, worüber das albinotische und tapetale Retinaepithel noch weitere Aufschlüsse versprechen. Wie Alles dazu drängt in den Sehzellen auch farblose Sehstoffe anzunehmen und im Sehpurpur nur eine Substanz jener Art zu erblicken, die uns wegen ihrer glücklicherweise farbigen Beschaffenheit zuerst bekannt geworden, so steht der Annahme ähnlicher Stoffe in allem Protoplasma, das auf Licht reagirt, nichts entgegen, in welchem Falle die Hypothese der Sehreger auf alle phototrope animale Reaction zu übertragen ist, die damit zu einem chemischen Reizungsphänomen würde.

Die Bedeutung des retinalen Epithels für das Sehen kann wahrscheinlich nur eine indirecte sein, da dasselbe, wenn vielleicht nicht aller nervösen Verbindung, so doch der Verknüpfung mit der grossen Zahl feinster Opticusausstrahlungen entbehrt, deren ein Stratum echter Sehzellen bedarf. Das mit den Querschnittsmaassen der Stäbchen und Zapfen gut übereinstimmende Unterscheidungsvermögen des menschlichen Auges für kleinste Abstände weist vollends die Auffassung der dazu selbst in der Fovea centralis noch viel zu breiten Epithelzellen als Sehzellen ab. Um so mehr Gewicht wird auf die nachgewiesene, merkwürdige optochemische Beziehung dieser Zellen zu den Stäbchen und auf ihre daraus hervorgehende indirecte Bedeutung für das Sehen zu legen sein. Giebt es ein Sehen mit dem Sehpurpur, so würde es nach dem ersten Gebrauche dahin sein, wenn das Epithel nicht vorhanden oder seine regenerative Function vernichtet wäre. Ausserdem verdient das Epithel in rein optischer Beziehung Beachtung, da es manche Fälle von Irradiation beim Sehen verständlich macht, insofern jede seiner Zellen mehrere Stäbchen aufnimmt, und das durch ein Glied solcher Gruppen gegangene Licht nach der Reflexion an den Rückflächen des Auges auf seinem Rückgange benachbarte Stäbchen mit trifft. In dieser Beziehung könnte das Wandern des Pigmentes auf den Stäbchenkuppen, das dieselben bald enthüllt, bald wieder verdeckt, merkliche Inconstanzen beim Sehen erzeugen.

Sind die Stäbchen und Zapfen durch mechanische Reize erregbar, wie es manche Erscheinungen bei Druckversuchen an unserem Auge wahrscheinlich machen, so ist eine mechanische Reizung der Stäbchenkuppen, sowie der Stäbchen- und Zapfenaussenflächen durch die beweglichen, spitzen Fuscinnadeln, welche dieselben reiben könnten, denkbar, wenn ein irritabler Bestandtheil der Innenglieder in die cuticularen Aussenglieder emporreichen sollte. Freilich würden auf derartigen Erregungen höchstens Lichtempfindungen langsameren Verlaufes

oder Nachempfindungen beruhen können, die, obschon an sich unwesentlich, vielleicht einiges Verständniss des sonderbaren, ausschliesslichen Vorkommens der scharfnadligen Formen des Fuscins in dem Antheile des epithelialen Pigmentbreies versprächen, der mit den Stäbchen in Berührung kommt und nach vorn zu dringen vermag.

VIERTER THEIL.

DER RAUMSINN UND DIE BEWEGUNGEN DES AUGES

VON

PROF. DR. EWALD HERING IN PRAG.

ERSTER ABSCHNITT.

Das Sehen mit unbewegten Augen.

EINLEITUNG.[1]

Wir sehen die Dinge in sehr vielen Fällen in einer anderen Gestalt und an einem anderen Orte, als ihrer wirklichen Gestalt und ihrem wirklichen Orte entspricht.

Der Mond ist für unseren Gesichtsinn eine kleine, flache Scheibe in einer Entfernung, die jedenfalls nicht erheblich über die Entfernung hinausgeht, in welcher uns der fernste noch sichtbare Berg am

1 Bei der ausserordentlichen Menge der Einzelthatsachen, welche die Literatur über die räumlichen Gesichtswahrnehmungen beigebracht hat, war es ganz unmöglich, auf dem zugemessenen Raume irgend erschöpfend zu sein. Ich habe mich also darauf beschränkt, die allgemeinen Sätze, welche sich aus den bisher bekannt gewordenen Thatsachen abstrahiren lassen, an einigen Beispielen zu erörtern. — Noch reicher fast, als in Betreff der Thatsachen, ist die Literatur in Betreff der Theorien. Diese habe ich kurz berührt, insofern sie mir nicht in handgreiflicher Weise durch die angeführten Thatsachen bereits widerlegt schienen. Auf irgendwelche Vollständigkeit in den Angaben über die Literatur habe ich ebenfalls wegen der Ueberfülle verzichtet. Wer weitere Belehrung sucht oder selbst auf diesem Gebiete arbeiten will, findet ausführliche Literaturverzeichnisse im Handbuche der physiologischen Optik von HELMHOLTZ und in AUBERT's Grundzügen der physiologischen Optik (Handb. d. ges. Augenheilk. von GRÄFE u. SAEMISCH II. 2. Th.). In einem Handbuche der Physiologie kann die Lehre von den Sinneswahrnehmungen, welche nur mit einem Fusse in der Physiologie mit dem andern in der Psychologie steht, nicht nach demselben Maassstabe wie die rein physiologischen Capitel bearbeitet werden. Die Psychophysik, deren Hauptinhalt die Lehre von den Sinnen bildet, hat sich bereits zur selbstständigen Disciplin entwickelt.

Horizonte erscheint. Gleichwohl sind wir zu dem Schlusse berechtigt, dass der Mond Kugelgestalt und eine Grösse und Entfernung hat, die seine scheinbare weit übertrifft. Wir denken uns also den Mond ganz anders, als wir ihn sehen. Den Mond nun, wie wir ihn uns denken, nennen wir den wirklichen Mond. Die fernen Bäume einer geraden Allee, die wir durchschreiten, erscheinen uns kleiner und einander näher gerückt, als die gleich grossen Bäume in unserer Nähe. Wir denken uns aber aus guten Gründen jene fernen Bäume ebenso gross und in demselben gegenseitigen Abstande von einander, wie die nahen. Den Raum denken wir uns unendlich, aber wir sehen ihn stets begrenzt durch den Horizont, den Fussboden und das Himmelsgewölbe, oder sonstwie. Unsere Ueberzeugung, dass der Mond viel grösser und ferner ist, als alles Irdische, dass die fernen Bäume so gross sind, wie die nahen, kann uns nicht dazu verhelfen, Mond und Bäume auch entsprechend gross und fern zu sehen.

Den Raum, wie er uns in einem gegebenen Augenblicke erscheint, wollen wir den jeweiligen Sehraum nennen, und die Dinge, wie wir sie diesen Raum erfüllen oder begrenzen sehen, die Sehdinge. Die Form dieser Sehdinge und ihre Anordnung im Sehraume können also, wie obige und zahllose andere Thatsachen lehren, andere sein, als die Form und Anordnung der wirklichen Dinge im wirklichen Raume. Die Sehdinge decken sich nach Gestalt und Ort nicht nothwendig mit den wirklichen Dingen, der Sehraum nicht mit demjenigen Theile des wirklichen Raumes, welcher die, den eben vorhandenen Sehdingen entsprechenden wirklichen Dinge umschliesst.

Da es ein absolutes Maass des Raumes nicht giebt, sondern wir nur eine Raumgrösse mit einer anderen vergleichen und das Verhältniss beider feststellen können, so ist das eben Gesagte dahin zu verstehen, dass die räumlichen Verhältnisse der in einem gegebenen Augenblicke vorhandenen Sehdinge andere sind, als die räumlichen Verhältnisse der ihnen entsprechenden wirklichen Dinge.

Diese Unterscheidung zwischen Sehraum und wirklichem Raum, zwischen den Dingen wie sie räumlich sind und den Dingen wie sie uns beim Sehen räumlich erscheinen, muss durchaus gemacht werden, und man muss sich hierüber ganz klar sein, wenn man eine richtige Einsicht in die Gesetze des Sehens gewinnen will. Es handelt sich hierbei nicht um irgendwelche metaphysische Speculation, sondern um einen leicht zu fassenden Fundamentalsatz der Sinnenlehre. In wie weit der Raum und die Dinge, wie wir sie uns auf Grund unserer gesammten sinnlichen Erfahrungen denken und als wirklich bezeichnen, abgesehen von diesem ihrem Vorhandensein in unserem Denken noch eine andere, von diesem Denken unabhängige Existenz haben, ist eine ganz andere Frage, deren Erörterung nicht hierher gehört.

Der Stoff, aus welchem die Sehdinge bestehen, sind die Gesichtsempfindungen. Die untergehende Sonne ist als Sehding eine flache kreisförmige Scheibe, welche aus Gelbroth, also aus einer Gesichtsempfindung besteht. Wir können sie daher geradezu als eine kreisförmige, gelbrothe Empfindung bezeichnen. Diese Empfindung haben wir da, wo uns eben die Sonne erscheint.

Dies ist der einfachste Ausdruck für das Thatsächliche. Man hat sich aber gewöhnt zu sagen, man habe die Empfindung eigentlich im Auge oder im Kopfe, und versetze sie nur in den Aussenraum. Die so in den Aussenraum versetzte Empfindung nennt man demnach auch wohl Vorstellung. Da aber Niemand die Sonne in seinem Auge oder in seinem Kopfe sieht, und wir überhaupt selbst bei geschlossenen Augen jede Gesichtsempfindung vor den Augen und vor dem Kopfe und niemals in denselben haben, so ist offenbar, dass die letzterwähnte Auffassung und Bezeichnungsweise sich nicht blos an das Thatsächliche hält, sondern der Ausfluss weiterer Speculation ist, die wir bei aller Achtung vor derselben zunächst bei Seite zu lassen haben. Dies gilt noch mehr von einer zweiten Auffassung, nach welcher die Empfindung eigentlich formlos ist und erst von uns, z. B. mittels unbewusster Schlüsse, zu räumlichen Vorstellungen verarbeitet wird. Diese sogenannte „reine" Empfindung wäre hiernach nur ein form- und raumloses Etwas, auf dessen Grundlage erst die Vorstellung als Anschauung sich bildet.

Da wir aber Gesichtsempfindungen, die weder Form noch Ort noch Ausdehnung, also überhaupt keinerlei räumliche Eigenschaft hätten, gar nicht kennen, solche Empfindungen also für uns ebenfalls nur ein Ergebniss der Speculation sind, so müssen wir auch diese Ansicht so lange unberücksichtigt lassen, als es sich nur um die Schilderung der Thatsachen handelt. Weiss, Schwarz, Blau u. s. w. nennen wir Empfindungen, diese Empfindungen haben immer räumliche Eigenschaften, eine mehr oder minder bestimmte Form oder zum Mindesten eine Ausdehnung, auch haben sie immer irgend welchen Ort und zwar diesen stets ausserhalb unserer Augen. Wenn nun eine weisse Empfindung von quadratischer Form vor uns ist, so sagen wir, dass wir ein weisses Quadrat sehen. Umgekehrt können wir also auch sagen, dass dieses weisse Quadrat, so wie wir es sehen, d. h. als Sehding, eine weisse quadratisch geformte Empfindung ist, die vor uns im Sehraum liegt. Es bleibt Jedem unbenommen, sich dies in die Sprache seiner theoretischen Ansichten über die Natur, Entstehung und Entwicklung der räumlichen Gesichtswahrnehmung zu übersetzen.

Diejenige verticale Ebene im Raume, welche unsern Körper bei zwangloser aufrechter Haltung, d. i. bei seiner Primärstellung[1] in symmetrische Hälften theilt, nennen wir die Medianebene des wirklichen Raumes.

Eine zweite verticale Ebene geht durch die Drehpunkte beider Augen; sie schneidet die Medianebene rechtwinklig und heisse die Frontalebene des wirklichen Raumes.

Die durch die Drehpunkte beider Augen gelegte Horizontalebene endlich heisse die horizontale Hauptebene des wirklichen Raumes.

Durch diese drei Ebenen ist ein medianer, ein frontaler und ein horizontaler ebener Durchschnitt des Kopfes gegeben. Wenn nun der Kopf seine Stellung ändert, während wir mit den Füssen noch auf der alten Stelle stehen, so fallen die Ebenen dieser Durchschnitte nicht mehr mit den oben genannten Hauptebenen des Raumes zusammen. Wir nennen die Ebene des medianen Kopfschnittes die Medianebene des Kopfes, die des frontalen Schnittes die Frontalebene des Kopfes, die des horizontalen Schnittes die primäre Blickebene. Diese drei Ebenen sind also mit dem Kopfe fest verbunden und mit ihm beweglich zu denken; nur wenn der Kopf wieder in die oben angenommene aufrechte und gerade Stellung zurückkehrt, fallen diese drei Ebenen des Kopfes wieder mit den drei Hauptebenen des Raumes zusammen.

Je nachdem wir nun das eine oder das andere zweckmässiger finden, werden wir die Lage eines Aussendinges in Bezug auf die drei Hauptebenen des Raumes oder aber in Bezug auf die drei Schnittebenen des Kopfes bestimmen.

Von den drei wirklichen Hauptebenen des Raumes haben wir die scheinbaren zu unterscheiden. Wir haben auch bei geschlossenen Augen oder im Finstern immer eine Vorstellung von unserem Körper und diese ist bei gerader, aufrechter Stellung besonders genau. Folglich haben wir in diesem Falle auch eine ziemlich zutreffende Vorstellung von der Lage der drei durch ihn bestimmten Hauptebenen des Raumes. Die vorgestellte Medianebene nennen wir seine vermeintliche oder scheinbare Medianebenc, und ebenso unterscheiden wir die scheinbare horizontale Hauptebene und die scheinbare Frontalebene des Raumes. Ist unsere Vorstellung von der Stellung unseres Körpers ungenau, so wird auch die scheinbare Lage einer oder sämmtlicher genannter Hauptebenen eine falsche sein.

---

1 Eine genauere Bestimmung dieser Primärstellung wird im Capitel über die Augenbewegungen gegeben.

Wir werden im Folgenden meist eine gerade aufrechte Stellung des Körpers und Kopfes annehmen. Könnten wir dies ganz ausschliesslich thun, so hätten wir nicht nöthig, die drei Schnittebenen des Kopfes von den drei Hauptebenen des Raumes zu unterscheiden, denn dieselben würden dann immer zusammenfallen. Wir werden ferner annehmen, das Vorstellungsbild, welches wir auf Grund zahlreicher gegenwärtiger Empfindungen und unter Mithilfe ergänzender Erinnerungsbilder von unserem Körper haben, decke bei Primärstellung desselben unter gewöhnlichen Umständen den wirklichen Körper, so dass die drei scheinbaren Hauptebenen des Raumes mit seinen wirklichen zusammenfallen.

Denjenigen Theil des wirklichen Raumes, dessen Inhalt bei einer gegebenen Augenstellung beiden Augen zugleich sichtbar ist, nennen wir den binocularen Gesichtsraum zum Unterschiede vom Gesichtsraume des linken oder rechten Auges. Der binoculare Gesichtsraum ist der, beiden unocularen Gesichtsräumen gemeinsame Theil des Aussenraumes. Wir unterscheiden also streng zwischen dem jeweiligen Gesichtsraum, welcher die eben gesehenen Dinge, und dem jeweiligen Sehraume, welcher die entsprechenden Sehdinge enthält.

Es wird später erörtert werden, dass wir bei Primärstellung des Kopfes und symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien einen Aussenpunkt, der sich auf beiden Netzhäuten an den Stellen des directen Sehens abbildet, in der scheinbaren Medianebene sehen und zwar mit solcher Bestimmtheit, dass wir, wenn dabei zugleich viele andere Punkte sichtbar sind, über die Wahl des in der Medianebene erscheinenden nur innerhalb eines sehr kleinen Sehraumbezirkes zweifelhaft sind. Daraus folgt aber nicht, dass in allen Fällen ein Aussenpunkt der uns in der Medianebene zu liegen scheint, auch in der wirklichen Medianebene liegt. Denn erstens können wir uns über die Stellung unseres Körpers oder Kopfes täuschen, welchenfalls die wirkliche Medianebene nicht mit der scheinbaren zusammenfallen würde. Zweitens könnten unsere Gesichtslinien wider unseren Willen unsymmetrisch convergiren, während wir geradaus zu sehen vermeinen. Drittens könnte der Gang der Lichtstrahlen, welche von dem fraglichen Aussenpunkte ausgehen, ein ungewöhnlicher sein, weil wir z. B. Prismen vor beiden Augen hätten. In allen diesen Fällen würde sich ein nicht median gelegener Aussenpunkt auf den Stellen des directen Sehens abbilden können, und wir würden denselben mit grosser Bestimmtheit in der Medianebene sehen, auch wenn wir wüssten, dass er nicht da liegt.

Wir müssen deshalb streng unterscheiden zwischen der Bestimmtheit der Lage eines Sehdinges und der mehr oder minder grossen Uebereinstimmung dieser Lage mit der des entsprechenden wirklichen Dinges im wirklichen Raume. Hat ein Sehding zu den drei scheinbaren Hauptebenen des Raumes dasselbe Lagenverhältniss, wie das entsprechende wirkliche Ding zu den wirklichen Hauptebenen, und fallen erstere und letztere zusammen, so sagen wir, dass der Sehort des Dinges oder seine Lokalisirung richtig ist. Die Lokalisirung eines Sehdinges kann aber sehr bestimmt und doch falsch sein. Wie nöthig es ist, diese strenge Unterscheidung zwischen der Bestimmtheit und der Richtigkeit der Lokalisirung zu machen, geht aus Folgendem hervor.

Um unsere Bewegungen in Uebereinstimmung zu setzen mit den räumlichen Gesichtswahrnehmungen und z. B. mit Sicherheit nach einem gegebenen Ziele zu werfen, ist nothwendig, dass erstens der scheinbare Ort des Zieles in gesetzmässiger Weise von seinem wirklichen Orte abhänge, und dass zweitens die Wurfbewegung der Hand wieder in gesetzmässiger und zweckentsprechender Weise von dem scheinbaren Orte des Dinges abhänge. Dass der scheinbare Ort dem wirklichen entspreche, ist dabei nicht nöthig. Denn angenommen, man sähe das Wurfziel, ähnlich wie den Mond, viel zu nahe, so würden wir dasselbe doch treffen, wenn wir gelernt hätten, bei einer bestimmt gegebenen scheinbaren Entfernung des Zieles dem Wurfgeschoss denjenigen Stoss zu ertheilen, welcher es bis zum wirklichen Orte des Zieles treibt. Hierzu bedarf es also, wenn anders die Bedingungen des Sehens die gewöhnlichen und normalen sind, nur der Bestimmtheit nicht auch der Richtigkeit des scheinbaren Ortes.

Um den Ort eines kurz zuvor gesehenen Dinges nachträglich mit den Fingern richtig anzugeben, oder einen gesehenen Gegenstand sicher mit der Hand zu ergreifen, auch wenn die Hand während der Bewegung selbst nicht gesehen wird, ist ebenfalls eine richtige, der Wirklichkeit entsprechende Lokalisirung gar nicht nöthig, sondern nur erforderlich, dass dieselbe hinreichend bestimmt sei, damit durch sie als Zwischenglied eine gesetzmässige Beziehung zwischen dem wirklichen Orte des gesehenen Dinges und der Bewegung der Hand gegeben werde. —

Unser Sehorgan besteht aus den beiden Augen, den Sehnerven und denjenigen Hirntheilen, welche am Zustandekommen der in das Bereich des Gesichtssinnes gehörenden Empfindungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen mit betheiligt sind. Wir nennen dies gesammte Organ das Doppelauge.

Da wir normaler Weise mit beiden Augen zugleich sehen, so haben wir von dem doppeläugigen Sehen auszugehen, und das einäugige Sehen nur in zweiter Linie zu berücksichtigen. Wir werden uns im ersten Abschnitte unserer Betrachtung die Augen unbewegt denken, im zweiten aber das Sehen mit wanderndem Blicke erörtern.

ERSTES CAPITEL.

Die Correspondenz der Netzhäute.

Das Lageverhältniss eines Aussenpunktes zu den beiden Netzhäuten des Doppelauges bestimmen wir mittels der Richtungslinien, deren jede einen Aussenpunkt mit seinem Bildpunkte auf der Netzhaut verbindet. Wir nehmen an, dass sämmtliche Richtungslinien sich in einem Punkte kreuzen, welcher seine Lage im Auge nie ändert. Sämmtliche Richtungslinien einer Netzhaut bilden ein Strahlbüschel, das mit dem Auge fest verbunden und mit ihm beweglich ist. Jedem bestimmten Strahle dieses Büschels entspricht ein bestimmter Netzhautpunkt und umgekehrt. Jedem bestimmten Aussenpunkte, welcher beiden Augen zugleich sichtbar ist, entsprechen zwei Richtungslinien, deren Lage in jedem Strahlbüschel und Auge von der jeweiligen Stellung des letzteren abhängt.

Gleichgültig ist hierbei vorerst, wie wir uns die Netzhaut gestaltet denken, und wir werden deshalb im Folgenden der Einfachheit wegen meist annehmen, jede Netzhaut sei eine sphärisch gekrümmte Fläche, deren Mittelpunkt im Kreuzungspunkte der Richtungslinien liegt, oder eine im hinteren Endpunkte der Gesichtslinie senkrecht zur letzteren stehende Ebene, auf die wir uns sämmtliche Punkte der wirklichen Netzhaut mittels der Richtungslinien projicirt denken.

Wir wollen ferner annehmen, dass der Kreuzungspunkt der Richtungslinien trotz der Accommodation eine unveränderliche Lage im Auge haben.

Ein ausgezeichneter Strahl jedes der beiden Strahlbüschel ist die Gesichtslinie (Helmholtz) als die der Stelle des schärfsten oder directen Sehens entsprechende Richtungslinie. Einen Punkt einäugig oder doppeläugig fixiren heisst die Gesichtslinie eines oder jedes

Auges so stellen, dass sie durch den fixirten Punkt geht. Beide Gesichtslinien schneiden sich beim gewöhnlichen Sehen stets; ihre Ebene heisse die Blickebene und ihr Durchschnittspunkt der Blickpunkt. Derselbe wird auch als Fixationspunkt bezeichnet; wir wollen jedoch mit diesem Worte den Punkt benennen, in welchem eine Gesichtslinie ein Aussending schneidet. Wenn wir z. B. auf das Papier sehen, während die Gesichtslinien parallel liegen, so schneidet die linke Gesichtslinie das Papier in einem andern Punkte, als die rechte und wir haben also einen linksäugigen und einen rechtsäugigen Fixationspunkt zu unterscheiden. Der Blickpunkt liegt dabei in grosser Ferne hinter dem Papier, oder es giebt, falls die Gesichtslinien nicht genau in einer Ebene liegen, gar keinen Blickpunkt. Für gewöhnlich fallen allerdings beide Fixationspunkte mit dem Blickpunkte zusammen.

Der Winkel, welchen bei feststehendem Auge zwei Richtungslinien einschliessen, die den beiden Endpunkten einer gegebenen Strecke im Aussenraume entsprechen, heisst der Gesichtswinkel der Strecke.

Streng genommen müsste man entweder die im vorderen Knotenpunkte sich kreuzenden vorderen Richtungslinien, in vielen Fällen noch besser die Visirlinien zur Bestimmung des Gesichtswinkels benützen. Von allen diesen Winkeln wäre noch der Gesichtswinkel bei bewegtem Auge zu unterscheiden, d. i. der Winkel, welchen die beiden Lagen der Gesichtslinie bei abwechselnder Fixirung des einen und anderen Endpunktes der Strecke einschliessen. Seine Spitze liegt im Drehpunkte des Auges, insoweit wir den Abstand dieses Punktes von der Gesichtslinie vernachlässigen dürfen.[1]

Die Annahme, dass sich sämmtliche Richtungslinien in einem Punkte schneiden, der seinen Ort im Auge nicht ändert, ist selbstverständlich ungenau, aber sie ist uns als die für die Darstellung weitaus bequemste erschienen. Handelte es sich nur um das Sehen isolirter Punkte oder Linien, nicht um das Sehen von Grenzlinien verschieden heller und verschieden farbiger Flächen, so würde man besser die Visirlinien statt der Gesichtslinien benützen und mit Helmholtz annehmen, dass das Centrum der Visirlinien eine unveränderliche Lage im Auge hat, so wie ferner annehmen, dass die zu einem bestimmten Netzhautpunkte gehörige Visirlinie bei der Accommodation ihre Lage im Auge nicht ändert. Die Netzhautbildfläche könnte man sich dann als die vordere oder hintere Hälfte einer um das Centrum der Visirlinien als Mittelpunkt gelegten Kugelfläche denken; denn es kommt ja auch hier nur darauf an, dass ein bestimmter Netzhautpunkt einer bestimmten Linie des Visirlinienbüschels zugehöre und umgekehrt.

---

1 Vgl. Helmholtz, Physiol. Optik S. 99.

I. Das Schema der Correspondenz.

Wenn wir einen bestimmten Stern am Himmel fixiren, so scheinen uns sämmtliche Sterne an einer je nach den Umständen ebenen oder irgendwie gekrümmten Fläche zu liegen, welche die Grenze unseres Sehraumes bildet. Stehen wir vor einer weissen weit ausgedehnten vertikalen Wand und fixiren eine Stelle derselben, so sehen wir entsprechend eine weisse Ebene als Grenzfläche des Sehraumes. Eine solche bei unbewegten Augen erscheinende Sehfläche, vor welcher nichts Anderes sichtbar ist, und welche den Sehraum begrenzt, heisst ein Sehfeld des unbewegten Doppelauges.

Schliessen wir während der Fixirung eines bestimmten Sternes ein Auge, so erscheinen uns die Sterne nach wie vor an denselben Orten im Sehfelde. Verdecken wir bei binocularem Sehen dem einen Auge durch einen nahe vorgehaltenen Schirm die eine Hälfte des Himmels bis zum fixirten Sterne, dem andern die andere Hälfte, so setzen sich die beiden einäugig gesehenen Hälften zu einem Ganzen zusammen, in welchem die Sterne dieselbe scheinbare Lage haben wie zuvor.

Es ist also, wenn der Blickpunkt in grosser Ferne liegt, und die Gesichtslinien parallel sind, für die scheinbare Lage der sichtbaren sehr fernen Dinge, insoweit der hier beschriebene Versuch dies zu beurtheilen gestattet, gleichgültig, ob die Dinge sich zugleich in beiden oder nur in einem, oder endlich ob sie sich zum Theil im einen, zum Theil im andern Auge abbilden, vorausgesetzt, dass dabei das Sehfeld seine Form und Lage nicht ändert, und die scheinbare Ferne der Dinge dieselbe bleibt, wie dies beim Versuche am Himmelsgewölbe der Fall ist.

Verschieben wir dagegen während der Betrachtung des Sternhimmels das eine Auge durch Fingerdruck etwas nach oben oder unten, schieben wir schnell vor das eine Auge ein Prisma oder schielen wir einwärts, so dass die Gesichtslinien nicht mehr parallel liegen; dann erscheinen alle Sterne doppelt. Verdecken wir dem durch Fingerdruck verschobenen Auge die eine Hälfte des Himmels, dem andern die andere, so haben die beiden einäugig gesehenen Hälften eine veränderte Lage zu einander und erscheinen gegen einander verschoben.

Die Bilder des Sternhimmels müssen also bei binocularer Betrachtung auf beiden Netzhäuten eine ganz bestimmte Lage haben, wenn durch vollständiges oder partielles Verdecken eines Auges in der räumlichen Erscheinungsweise der Sterne keine Aenderung ein-

treten soll. Diese Lage der Bilder auf beiden Netzhäuten nennt man die correspondirende Lage, und die Stellen beider Netzhäute, auf welchen hierbei das Bild eines und desselben Sternes liegt, heissen correspondirende Stellen oder Deckstellen.

Jedes Paar solcher Deckstellen ist also dadurch charakterisirt, dass beiden in einem gegebenen Sehfelde wie z. B. dem scheinbaren Himmelsgewölbe ein und derselbe Ort entspricht, an welchem die von ihnen ausgelöste Empfindung erscheint, und zwar gleichviel, ob diese Empfindung von beiden Stellen zugleich oder nur von einer derselben ausgelöst wurde. Daher kann die eine Stelle durch die andere vertreten werden, ohne dass dadurch am scheinbaren Orte der zugehörigen Empfindung im gegebenen Sehfelde etwas geändert wird.

Wenn man beide als Halbkugelflächen oder Ebenen gedachten Netzhäute so zusammen legen würde, dass die beiden congruenten Bilder des Sternhimmels sich dabei deckten, so würden auch alle correspondirenden Punkte beider Netzhäute sich decken, und die beiden Richtungslinien jedes Paares, welche wir als correspondirende Richtungslinien bezeichnen können, zusammenfallen. Da die Stellen des directen Sehens, welche wir die physiologischen Netzhautcentren nennen wollen, nicht mit den geometrischen Mittelpunkten der Netzhäute zusammenfallen, sich vielmehr jede Netzhaut von jenen Centren nasenwärts weiter erstreckt als schläfenwärts, so versteht sich, dass bei dem gedachten Zusammenliegen der hemisphärischen Netzhäute sich dieselben nur mit ihrem grösseren Theile decken könnten, und dass dieser gemeinsame Theil jederseits durch die nasenwärts gelegene Partie jeder Einzelnetzhaut überragt würde. Der Mitteltheil eines gegebenen Sehfeldes, in welchem die auf den correspondirenden Abschnitten beider Netzhäute abgebildeten Dinge erscheinen, ist der binoculare, die nach rechts und links anstossenden Theile sind die unocularen Abschnitte des Sehfeldes.

Um die Lage eines Punktes der Netzhaut zu bestimmen, legen wir bei Primärstellung des Kopfes durch die beiden horizontal und parallel geradeaus gestellten, d. i. in ihrer Primärstellung befindlichen Gesichtslinien eine Ebene, die Blickebene, und bezeichnen die Linie, in welcher jede Netzhaut von dieser Ebene geschnitten wird, als mittlen Querschnitt der Netzhaut (horizontale Trennungslinie nach RUETE, Netzhauthorizont nach HELMHOLTZ). Ferner denken wir uns durch jede Gesichtslinie eine zur Blickebene senkrechte Ebene gelegt, und nennen die Linie, in welcher diese Ebene die Netzhaut durchschneidet, den mittlen Längsschnitt (ver-

ticale Trennungslinie nach Ruete, scheinbar verticaler Meridian nach Helmholtz). Mittler Querschnitt und mittler Längsschnitt der Netzhaut kreuzen sich also im Centrum der Netzhaut.

Legen wir ferner in die Verbindungslinie der beiden Kreuzungspunkte der Richtungslinien alle möglichen zur Blickebene geneigten Ebenen, so wird jede Netzhaut von jeder solchen Ebene in einer Linie durchschnitten, welche wir einen Querschnitt der Netzhaut nennen wollen. Legen wir ebenso durch die im Kreuzungspunkte der Richtungslinien senkrecht zur horizontalen primären Blickebene stehende Gerade alle möglichen Ebenen, so schneidet jede derselben die Netzhaut in einer Linie, welche ein Längsschnitt heisse. Jeder Querschnitt oder Längsschnitt einer Netzhaut ist bestimmt durch die Grösse und das Vorzeichen des Winkels, welchen seine Ebene mit der Ebene des mittlen Querschnittes oder Längsschnittes einschliesst, und je zwei Quer- oder Längsschnitte, deren Ebenen um gleiche positive, beziehungsweise negative Winkel von der Ebene des mittlen Quer- oder Längsschnittes abweichen, sind correspondirende Netzhautschnitte. Jeder Netzhautpunkt ist bestimmt, wenn wir den Querschnitt und den Längsschnitt kennen, welchem er angehört; und je zwei Punkte beider Netzhäute, welche correspondirenden Längs- und Querschnitten angehören, sind correspondirende Punkte. Rechts und oben sind positiv.

Die Abweichung eines Netzhautpunktes vom mittlen Querschnitte heisst seine (positive oder negative) Längsabweichung oder Höhe, und wir messen dieselbe durch den Winkel, welchen die Ebene des Querschnittes, dem der Punkt angehört, mit der Ebene des mittlen Querschnittes einschliesst. Entsprechend messen wir die (positive oder negative) quere Abweichung oder Breite eines Netzhautpunktes durch den Winkel, welchen die Ebene des Längsschnittes, dem der Punkt angehört, mit der Ebene des mittlen Längsschnittes macht. Deckpunkte sind also solche, welche auf beiden Netzhäuten gleiche Breite und Höhe haben.

Um die Beziehung eines bestimmten Deckpunktpaares zu der Stelle des Sehfeldes ausdrücken zu können, in welcher eine von ihm ausgelöste Empfindung erscheint, nennen wir Längsmittellinie des Sehfeldes die Linie, auf welcher sämmtliche von den Längsschnitten der Netzhäute ausgelösten Empfindungen gesehen werden, und quere Mittellinie des Sehfeldes die Linie, welche den scheinbaren Ort aller Aussenpunkte enthält, die sich auf den mittlen Querschnitten der Netzhäute abbilden. Im Kreuzungspunkte der queren und der Längsmittellinie erscheint also die den Netzhautcentren entsprechende Empfindung, er ist der scheinbare Ort des fixirten Aussen-

punktes. Setzen wir den einfachsten Fall, dass das Sehfeld eine Ebene ist, so können wir wieder den Abstand eines beliebigen Punktes im Sehfelde von der queren Mittellinie desselben den (positiven oder negativen) Längsabstand oder die Höhe, den Abstand von der Längsmittellinie des Sehfeldes den queren Abstand oder die Breite des Punktes nennen.

Da nun, wie wir gesehen haben, jedem Deckpunktpaare nur ein Punkt im Sehfelde entspricht, so können wir jede zwei Deckpunkte dadurch charakterisirt denken, dass die von ihnen ausgelöste Empfindung eine und dieselbe Höhe und Breite im gegebenen Sehfelde hat, gleichviel, ob sie durch gleichzeitige Reizung beider oder nur eines der Deckpunkte ausgelöst wurde.

Correspondirend gelegene Netzhautpunkte haben also in Beziehung auf ein gegebenes Sehfeld einen und denselben oder identischen Höhen- und Breitenwerth. Die ältere Bezeichnung der Deckstellen als identischer Stellen erscheint deshalb angemessen, wenn es sich nur um den ihnen entsprechenden Ort in einem gegebenen Sehfelde handelt; im Uebrigen ist sie unzutreffend, weil es, wie wir später sehen werden, für die scheinbare Ferne der Dinge nicht gleichgültig ist, ob sie sich auf einem Punkte der rechten oder auf dem correspondirenden Punkte der linken Netzhaut abbilden.

Zwei Punkte auf beiden Netzhäuten, welche nicht Deckpunkte sind, heissen disparate Punkte (Fechner), zwei verschiedene Punkte einer und derselben Netzhaut differente Punkte (Fechner).

Ein Punktpaar, welches correspondirenden Querschnitten aber disparaten Längsschnitten angehört, heisse ein querdisparates Punktpaar; eines, das auf correspondirenden Längsschnitten aber disparaten Querschnitten liegt, ein längsdisparates; ein sowohl auf disparaten Quer- als auch Längsschnitten liegendes heisse ein schräg disparates Punktpaar.

Die Differenz des Breitenwerthes der beiden disparaten Längsschnitte, welchem ein Punktpaar angehört, ist das Maass der queren Disparation, die Differenz des Höhenwerthes der beiden disparaten Querschnitte, auf welchen das Punktpaar liegt, das Maass der Längsdisparation.

Diese Art der Eintheilung der Netzhäute, welche eine physiologisch begründete und für die meisten weiteren Untersuchungen allein zweckmässige ist, wurde von Hering[1] eingeführt. Ueber die ältere Eintheilung s. u.

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. § 6. 1861 und III. § 77. 1863.

Aus dem Gesagten folgt übrigens noch nicht, dass zwei Empfindungen, welche von differenten Punkten desselben Längs- (oder Quer-) schnittes, oder von disparaten Punkten eines correspondirenden Längsschnitt- (oder Querschnitt-) Paares ausgelöst werden, im ebenen Sehfelde auch denselben Breiten- (oder Höhen-) Werth haben, und von der mittlen Längs- (oder Quer-) linie des Sehfeldes gleichweit abliegen müssen. In wie weit gleichen Breiten- oder Höhenwerthen verschiedener Netzhautpunkte gleiche Breiten- oder Höhenwerthe der zugehörigen Empfindungen im Sehfelde entsprechen, wird im nächsten Capitel erörtert.

Die ältere aber nur in besonderen Fällen verwendbare Eintheilung der Netzhaut ist folgende: Die Stelle des directen Sehens wird als Pol der hemisphärisch gedachten Netzhaut angesehen; um diesen Pol denkt man sich auf der Kugelfläche ein System von Parallelkreisen gelegt. Jede durch die Gesichtslinie gelegte Ebene schneidet die Netzhaut in einem sogenannten Meridiane derselben. Der dem mittlen Querschnitt entsprechende Meridian heisst der scheinbar horizontale, der dem mittlen Längsschnitt entsprechende der scheinbar verticale Meridian. Ein Netzhautpunkt ist bestimmt, wenn man den Meridian und den Parallelkreis kennt, welchem er angehört.

II. Genauere Bestimmung der Deckpunkte.

Die oben erwähnte Thatsache, dass wir beim Fixiren eines Sternes dem linken Netzhautbilde des Sternhimmels das correspondirende Bild im rechten Auge ganz oder theilweise substituiren können und umgekehrt, ohne dass dadurch die scheinbare Anordnung der Sterne im Sehfelde sich merklich ändert, eröffnet uns den Weg zur genaueren Untersuchung der Lage der Deckpunkte auf den Netzhäuten. Wir suchen also festzustellen, in wie weit für je einen bestimmten Punkt der einen Netzhaut ein bestimmter Punkt der andern eintreten kann, ohne dass dadurch der Ort der zugehörigen Empfindung im gegebenen Sehfelde geändert wird. Diese zuerst von v. Recklinghausen[1] für Convergenzstellungen benützte und von Hering[2] zum Zwecke der allgemeinen Untersuchung der Deckstellen entwickelte Methode heisse die Methode der gegenseitigen Substitution der Netzhautstellen.

Denken wir uns die Gesichtslinien bei Primärstellung des Kopfes horizontal geradeaus, also zugleich parallel gestellt, als ob wir einen

---

1 v. Recklinghausen, Arch. f. Ophthalmologie V. 2. Abth. S. 127. 1859.
2 Hering, Beiträge zur Physiologie III. § 73. 1863.

fernen Punkt betrachteten, der in gleicher Höhe wie unsere Augen über dem Horizonte liegt. In einer dem Fernpunkte der etwas kurzsichtigen oder kurzsichtig gemachten[1] Augen befinde sich ein verticaler weisser Schirm, welcher von den parallelen Gesichtslinien senkrecht durchschnitten wird. Die beiden Schnittpunkte seien auf der weissen Fläche durch zwei ganz gleiche kleine Marken sichtbar gemacht, oder es sei um jeden derselben ein kleiner Kreis gezogen (Fig. 1).



Fig. 1.

Befindet sich zwischen den Augen in der Medianebene ein bis nahe an den weissen Schirm reichender schwarzer Schirm oder blickt jedes Auge durch eine cylindrische Röhre, deren Axe mit der Gesichtslinie zusammenfällt, so ist dem linken Auge nur die linke dem rechten nur die rechte Marke sichtbar; die Bilder derselben aber decken sich und man sieht nur eine Marke in der Längsmittellinie des ebenen verticalen Sehfeldes. Zieht man ferner auf dem Schirme durch den linken Fixationspunkt eine senkrechte schwarze Linie, so erscheint dieselbe als eine durch die Mitte des Sehfeldes gehende annähernd verticale Linie, obwohl sie nur vom linken Auge gesehen wird. Da aber unserer Voraussetzung nach zwei correspondirende Netzhautstellen einer und derselben Stelle im gegebenen Sehfelde entsprechen, so muss es gleichgültig sein, ob wir dem linken Auge die ganze Linie sichtbar machen oder ihm nur die obere Hälfte, den correspondirenden Stellen des rechten Auges aber die untere Hälfte darbieten. Zeichnen wir also die beiden Linienhälften so auf den

1 Bei Anwendung von Linsen muss man sehr sorgfältig darauf achten, dass nicht durch schiefe Stellung der Linse eine Verzerrung des Netzhautbildes herbeigeführt werde. Besser ist es immer, wenn man ohne Gläser untersuchen kann.

Schirm wie es Fig. 1 darstellt, so muss uns wieder eine durch die Marke in der Mitte des Schirmes verlaufende gerade Linie erscheinen, falls sich jetzt die nur vom rechten Auge gesehene untere Linienhälfte auf Deckpunkten derjenigen Netzhautpunkte des linken Auges abbildet, welche anfangs das Bild der unteren Linienhälfte trugen. Dies ist nun aber meistens nicht der Fall, und deshalb erscheint die Linie in der Mitte geknickt, und es bilden ihre beiden Hälften einen nach rechts offenen sehr stumpfen Winkel, wie in der Mitte der Fig. 1 dargestellt ist. Bieten wir umgekehrt dem rechten Auge die obere, dem linken die untere Halblinie, so erscheint der Winkel gleichgross, aber nach links offen.

Um die Linie ungebrochen zu sehen, müssen wir entweder die vom linken Auge gesehene obere Halblinie mit ihrem oberen Ende oder die rechtsäugig gesehene untere Halblinie mit ihrem unteren Ende um einen bestimmten kleinen Winkel nach links hin neigen. Ersteren Falls erscheint uns aber die nun ungebrochene Linie mit dem oberen Ende etwas nach links, letzterenfalls etwas nach rechts geneigt. Soll die Linie ungebrochen und zugleich in der Medianebene erscheinen, so müssen wir die erwähnte Neigung auf beide Halblinien zu gleichen Hälften vertheilen. Die dann für jede Halblinie nöthige Neigung ist individuell verschieden und schwankt nach den bisherigen Angaben zwischen 0° und etwa 1° 30′.

Um die Neigung der Halblinien leicht und messbar ausführen zu können, benützt man entweder statt der Linien zwei schwarze Fäden, die je in einem Fixationspunkt befestigt und mit dem andern Ende über einer Kreistheilung beweglich sind, oder man theilt nach dem Vorgange VOLKMANN's[1] den Schirm in eine rechte und linke Hälfte, giebt jeder Hälfte die Form einer Kreisscheibe, welche um den Punkt f beziehentlich f' als den Mittelpunkt drehbar ist, versieht die Peripherie jeder Kreisscheibe mit einer Kreistheilung und liest an einem Index die Grösse der nöthigen Drehung ab.

Die richtige Lage der Gesichtslinien zum Schirme controlirt man dadurch, dass man in f und f' feine zur Schirmfläche senkrechte Nadeln anbringt, welche beiderseits in totaler Verkürzung und also punktförmig erscheinen müssen.[2] Eine derartige Vorrichtung, mittels welcher jedem Auge ein besonderes Gesichtsfeld dargeboten, der Inhalt beider Gesichtsfelder aber vereint im Sehfelde zur Erscheinung gebracht wird, heisse eine **haploskopische** Vorrichtung.

---

[1] V[illegible] Untersuchungen II. 1864.
[2] [illegible] zur Controle der Stellung der Gesichtslinie in Bezug [illegible] die Augenbewegungen.

Die Gesammtheit der Richtungslinien, welche den einzelnen Punkten einer durch den Fixationspunkt (f oder f') gehenden Verticallinie entsprechen, bilden eine senkrechte Ebene, welche die Netzhaut in ihrem verticalen Meridiane durchschneidet, und auf diesem Meridiane liegt zugleich das Bild der Linie.

Aus dem Versuche geht also hervor, dass die bei horizontal und parallel geradaus gestellten Gesichtslinien vertical liegenden Netzhautmeridiane nicht genau correspondiren, dass dagegen ein mit dem oberen Ende etwas nach links geneigter Netzhautmeridian des linken Auges einem mit dem oberen Ende um denselben Winkel nach rechts geneigten Meridiane des rechten Auges als correspondirend zugehört. Ein Linienbild, welches auf diesen symmetrisch zur Meridianebene geneigten correspondirenden Meridianen liegt, erscheint, wie der Versuch lehrt, in der Längsmittellinie des Sehfeldes und theilt dasselbe in eine rechte und linke Hälfte.

Diese Netzhautmeridiane nun sind für die meisten Augen die wahren mittlen Längsschnitte der Netzhäute, nicht aber sind es, wie wir schematisch annahmen und nur für Einzelne ganz richtig ist, die bei der gegebenen Augenstellung wirklich verticalen Meridiane der Netzhäute. Der Winkel, um welchen die beiden Halblinien gedreht werden müssen, und um welchen die beiden mittlen Längsschnitte von der verticalen Lage abweichen, ist nicht nur für verschiedene Beobachter verschieden, sondern auch, wie HELMHOLTZ[1] gefunden und DONDERS[2] bestätigt hat, selbst für einen und denselben Beobachter nicht constant, was sogleich seine Erklärung finden wird.

Die Abweichung der mittlen Längsschnitte von den bei Primärstellung der Augen verticalen Meridianen wurde von HERING[3] und HELMHOLTZ[4] gefunden, ausführlicher untersucht von VOLK-

1 HELMHOLTZ, Arch. f. Ophthalmologie X. 2. Abth. S. 3. 1864.

2 DONDERS, Onderzoekingen physiol. Labor. Utrecht III. 2. p. 45. 1875 und Arch. f. Ophthalmologie XXI. 3. Abth. S. 100. 1875. DONDERS beurtheilte die Lage der mittlen Längsschnitte nach dem scheinbaren Parallelismus zweier Trug- oder Halbbilder, deren eines dem einen, das andere dem andern Auge angehörte. Dies geht nur an, solange keine Veranlassung ist, die Bilder in einer zur Verticalen geneigten Ebene zu sehen. Denn ob solche Halbbilder parallel erscheinen, hängt nicht bloss von ihrer Lage auf den Netzhäuten ab, sondern auch sehr wesentlich davon, ob man dieselben in einer verticalen oder einer irgendwie geneigten Ebene localisirt („vorstellt", „zu sehen glaubt", „projicirt"). Wirklich auf zwei Längsschnitten gelegene Bilder erscheinen je nach den Umständen parallel, convergent oder divergent nach oben. Man darf daher, wie HERING (Beiträge zur Physiologie III. § 90. 1863) ausführlich gezeigt hat, den scheinbaren Parallelismus von Halbbildern, ausser in ganz besonderen Fällen, nicht zum ausschliesslichen Kriterium ihrer Lage auf der Netzhaut machen.

3 HERING, Beiträge zur Physiologie III. S. 175. April 1863.

4 HELMHOLTZ, Verh. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg. 3. Mai 1863 und Arch. f. Ophthalmologie IX. 2. Abth. S. 189. 1863.

MANN.[1] Weiters finden sich Messungen bei HELMHOLTZ[2], BERTHOLD[3], DOBROWOLSKY[4], VAN MOLL[5] und DONDERS (l. c.).

v. RECKLINGHAUSEN[6] sah an einem Kreuze, dessen vertikaler Schenkel in der Medianebene, der horizontale in der Blickebene parallel zur Frontalebene lag, wenn er dessen Mittelpunkt aus einer Entfernung von nicht mehr als 25 Ctm. mit einem Auge fixirte, den vertikalen Schenkel nach aussen, den horizontalen nach oben schwach concav gekrümmt. BERTHOLD[7] sah einen fixirten verticalen Faden, der senkrecht zur Gesichtslinie war, als einen schwach gekrümmten Bogen mit der Concavität nach rechts, wenn er mit dem rechten, nach links, wenn er mit dem linken Auge beobachtete. Er theilt mit, dass ein anderer Beobachter eine fixirte vertikale Linie stets im Fixationspunkte geknickt sah. Solche Abweichungen müssten bei obigen Versuchen mit eingerechnet werden, wenn es auf sehr feine Messungen ankäme. Sie scheinen keine blossen Anomalien zu sein.

Wiederholt man den Versuch mit horizontalen Linien, so erscheint entweder die eine Halblinie der Wirklichkeit entsprechend als die gerade Fortsetzung der andern, oder die beiden Halblinien schliessen im Sehfelde wieder einen sehr stumpfen Winkel ein, der aber einer Geraden meist viel näher kommt, als der an den verticalen Halblinien beobachtete.

Der Winkel ist nach oben offen, wenn die linke Halblinie dem linken, die rechte dem rechten Auge entspricht.

Diesenfalls werden also die beiden Netzhäute in nicht correspondirenden Meridianen von der Blickebene geschnitten. Man kann es aber leicht dahin bringen, dass beide Augen eine kleine Rollung um die Gesichtslinie derart ausführen, dass nun correspondirende Meridiane und zwar die beiden mittlen Querschnitte in die Blickebene zu liegen kommen. DONDERS erreichte dies, indem er dicht vor den Scheiben oberhalb und unterhalb des fixirten Punktes einige horizontale und daher unter sich parallele feine Fäden quer über beide Scheiben hinweg spannte. Die Augen suchen und finden nun gleichsam von selbst diejenige Lage, bei welcher sich jeder Faden auf correspondirenden Querschnitten abbildet.[8] Ist dies erreicht, so erscheinen auch die beiden horizontalen Halblinien als eine zusammenhängende Gerade.

1 VOLKMANN, Monatsber. d. Berliner Acad. August 1863 und Physiol. Untersuchungen aus d. Gebiete d. Optik II. S. 199. 1864.
2 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 703.
3 BERTHOLD, Arch. f. Ophthalmologie XI. 3. Abth. S. 107. 1865.
4 DOBROWOLSKY, ebenda. XVIII. 1. Abth. S. 53. 1872.
5 MOLL, Onderzoekingen in het physiol. Labor. III. 1. Utrecht 1875.
6 v. RECKLINGHAUSEN, Arch. f. Ophthalmologie V. 2. Abth. S. 134. 1859.
7 BERTHOLD, ebenda XI. 3. Abth. S. 141. 1865.
8 Vgl. das Nähere hierüber im Abschnitte über die Augenbewegungen.

Hat man auf diese Weise die queren Mittelschnitte der Netzhäute so zu sagen an die Blickebene gefesselt, was sich an den horizontalen Halblinien fortwährend controliren lässt, und bringt nun zugleich auch die verticalen Halblinien auf den Scheiben an, so ist der Winkel, um welchen man dieselben neigen muss, damit sie als eine zusammenhängende Gerade in der Längsmittellinie des Sehfeldes erscheinen, ein für jeden einzelnen Beobachter constanter. Die oben erwähnte Inconstanz hatte also ihren Grund darin, dass die Augen nicht bei allen Versuchen dieselbe Lage hatten, sondern in der Zeit von einer Beobachtung zur andern kleine Rollungen um die Gesichtslinie ausgeführt hatten.

Das wesentliche Endergebniss ist, dass wenn die queren Mittelschnitte in der Blickebene liegen, in den meisten Augen nicht die zur Blickebene senkrechten Netzhautmeridiane correspondirende sind, sondern dass der Längsmittellinie des Sehfeldes zwei andere Meridiane entsprechen, deren jeder mit der oberen Hälfte etwas nach aussen geneigt ist und mit dem wirklich verticalen Meridian einen sehr kleinen Winkel einschliesst, der zwischen 0° und etwa 1° 15″ schwankt. Für die meisten Augen divergiren also die mittlen Längsschnitte etwas nach oben, wenn die queren Mittelschnitte in der Blickebene liegen. Diese Abweichung in der Anordnung der Deckstellen von dem oben erörterten Schema wird als physiologische Incongruenz der Netzhaut bezeichnet. Dieselbe wurde von Helmholtz[1] und Volkmann[2] gefunden.[3]

Für die weitere Untersuchung legt man nach Volkmann durch den Fixationspunkt jeder Scheibe des Haploskops eine horizontale Gerade und eine auf dem Fixationspunkte stehende Halblinie, welche aber auf der einen Scheibe oberhalb, auf der andern unterhalb der Horizontalen liegt und bei vorhandener Netzhautincongruenz von der verticalen Lage in demselben Sinne und Grade abweicht, wie der mittle Längsschnitt von dem zur Blickebene senkrechten Netzhautmeridian. Haben die Augen des Beobachters keine Incongruenz,

1 Helmholtz, Verh. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg. 3. Mai 1863.
2 Volkmann, Sitzgsber. d. Berliner Acad. 13. Aug. 1863.
3 Siehe ausserdem die oben angeführte Literatur über die Divergenz der mittlen Längsschnitte. Helmholtz war der Meinung, dass eigentlich schon v. Recklinghausen (Arch. f. Ophthalmologie V. 2. Abth. S. 127. 1859) die Incongruenz der Netzhäute entdeckt habe. Derselbe sah ein rechtwinkliges Kreuz, das nicht über 250 mm. vom Gesichte entfernt war und mit einem Schenkel in der Medianebene mit dem anderen senkrecht zu derselben, mit seiner Ebene also schief zur Gesichtslinie lag, nicht rechtwinklig, sondern etwas verzerrt. Lag das Kreuz nahezu senkrecht zur Gesichtslinie, so verschwand die Täuschung, konnte also auch nicht in der Incongruenz der Netzhäute ihren Grund haben.

so können die stehenden Halblinien rechtwinklig zur Horizontalen liegen.

Parallel zur stehenden Halblinie legt man ferner auf beide Scheiben nach rechts oder beiderseits nach links eine zweite gerade Halblinie und zwar wieder auf der einen Scheibe oberhalb, auf der andern unterhalb des horizontalen Kreuzschenkels, wie Fig. 2 versinn-

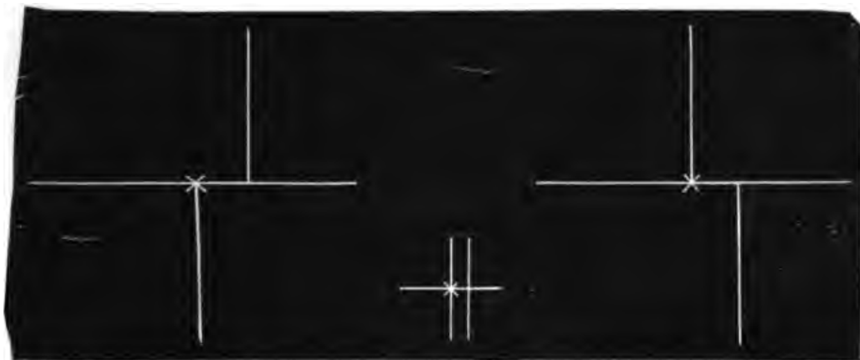


Fig. 2.

licht. Stellt man die Gesichtslinien auf die durch ein Kreuzchen markirten Mittelpunkte der Scheiben ein, so erscheint im Sehfelde ein rechtwinkliges Kreuz und eine zum stehenden Schenkel desselben parallele ganze Gerade, welche den Netzhautbildern der beiden seitlichen Halblinien entspricht, wie es die kleine Mittelfigur der Abbildung Fig. 2 in verkleinertem Maassstabe darstellt. Da die beiden seitlichen Halblinien sich beiderseits auf Längsschnitten abbilden, welche auf der als eben gedachten Netzhaut gleichen Abstand vom mittlen Längsschnitt haben und demselben parallel sind, so folgt aus dem Versuche, dass diese Längsschnitte correspondirende sind. Eine zweckmässige Modification dieses Versuchs von Volkmann[1] ist durch Fig. 3 versinnlicht.

Volkmann[1] legte auf jede Scheibe durch den Fixationspunkt eine ganze annähernd vertikale Linie, nicht blos eine Halblinie; es hat dies aber, wie Helmholtz[2] bemerkt, den Nachtheil, dass diese beiden stehenden Geraden auch dann als eine einfache vertikale Gerade im Sehfelde erscheinen, wenn sie nicht genau auf den mittlen Längsschnitten liegen, sich vielmehr auf etwas disparaten Längsschnitten abbilden (vergl. das Capitel über das Sehen mit disparaten Stellen). Diesenfalls werden aber die beiden stehenden Halblinien nicht als eine zusammenhängende Gerade,

1 Volkmann, Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik I.
2 Helmholtz, Physiol. Optik S. 707.

sondern etwas gegeneinander verschoben erscheinen, weil ihre Bilder nun ebenfalls auf entsprechend disparate Längsschnitte fallen.



Fig. 3.

Hering[1] fand es wahrscheinlich, dass bei solchen Versuchen die auf der äusseren Netzhauthälfte abgebildete stehende Halblinie eigentlich einen etwas kleineren Abstand von der Mittellinie haben müsste, als die andere auf der inneren Netzhauthälfte abgebildete Halblinie, weil die Breitenwerthe auf der äusseren Netzhauthälfte vielleicht etwas rascher wachsen, als auf der inneren. Dem würde die von Kundt[2] gefundene Thatsache entsprechen, dass man bei Halbirung einer einäugig gesehenen zur Gesichtslinie senkrecht liegenden horizontalen Strecke, die äussere Hälfte derselben, welche sich also auf der inneren Netzhauthälfte abbildet, stets zu gross macht. Ist die Vermuthung Hering's richtig, so würde sich daraus eine zweite Art der physiologischen Incongruenz der Netzhäute ergeben. Ueber die Gründe dieser Ansicht vergleiche das Capitel über das Sehen mit disparaten Netzhautstellen.



Fig. 4.

In analoger Weise lässt sich bei einer Anordnung der Halblinien, wie sie Fig. 4 versinnlicht, darthun, dass je zwei Querschnitte beider

1 Hering, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 161.
2 Kundt, Ann. d. Physik CXX. S. 118. 1863.

Netzhäute, welche in derselben Richtung und gleichweit vom mittlen Querschnitt abliegen, correspondirende Querschnitte sind.

Sind nun auf diese Weise die correspondirenden Längsschnitte einerseits und die correspondirenden Querschnitte andrerseits gefunden, so ergiebt sich daraus die beiderseitige Anordnung der Deckpunkte. Je zwei Netzhautpunkte, welche sowohl auf correspondirenden Längsschnitten als auf correspondirenden Querschnitten liegen, sind Deckpunkte. Vergl. Cap. II, Fig. 7.

Hering benutzte zur Untersuchung der correspondirenden Meridiane ausser verticalen und horizontalen Halblinien auch beliebig schräg gestellte und ausserdem Halbkreise von verschieden grossem Halbmesser, wie es Fig. 5 summarisch darstellt. Auf diese Weise lassen sich erstens



Fig. 5.

die correspondirenden Netzhautmeridiane und zweitens die correspondirenden Parallelkreise und somit auch die correspondirenden Punkte finden. Die Anwendung von Halbkreisen eignet sich aber nicht für diejenigen, in deren Netzhäuten die oben beschriebene Incongruenz erheblich vorhanden ist, weil in Folge derselben die Kreise verzerrt erscheinen. Auf solchen Netzhäuten sind Parallelkreise von gleichem Radius nicht genau correspondirende.

Eine zur Bestimmung der correspondirenden Meridiane sehr zweckmässige Modification der Methode benutzte Helmholtz. Man denke sich auf jede Scheibe der haploskopischen Vorrichtung drei einander nahe parallele und horizontale Linien gezeichnet, deren mittlere durch den Fixationspunkt geht, und diese Linien haploskopisch vereinigt. Entfernt man nun von der einen Scheibe die obere und untere, von der anderen die mittlere Linie, markirt aber beide Mittelpunkte und betrachtet die Scheiben haploskopisch, so sieht man wieder drei Linien, aber die mittlere, nur dem einen Auge zugehörige, wird genau parallel den beiden anderen, welche sich im andern Auge abbilden, nur dann erscheinen, wenn die mittlen Querschnitte beider Netzhäute genau parallel d. i. also hier in der Blickebene liegen.

Giebt man den Linien eine vertikale oder beliebige schräge Lage, so wird bei haploskopischer Vereinigung die mittle den beiden anderen im Allgemeinen nicht parallel erscheinen, man kann sie aber parallel sehen, wenn man z. B. die einfache Linie ein wenig in passendem Sinne um den Fixationspunkt dreht; der Winkel der dazu erforderlichen Drehung ist das Maass für die Divergenz der beiden entsprechenden Netzhautmeridiane. Helmholtz[1] benutzte als äusseres Linienpaar die parallelen Contouren eines rothen Papierstreifens auf schwarzem Grunde, als einfache Mittellinie einen blauen Faden.

Endlich ist noch eine Modification der Substitutionsmethode[2] zu erwähnen, die aber weniger zur Untersuchung als zur Illustrirung der Correspondenz der Netzhäute brauchbar ist. Erzeugt man sich im einen Auge ein langdauerndes Nachbild einer einfachen Figur, öffnet nun das andere Auge und schliesst das mit dem Nachbild versehene, so erscheint unter günstigen Umständen das Nachbild im Sehfelde des offenen Auges so, als ob es sich auf der Netzhaut dieses Auges befände und zwar in einer Lage, welche mit der Lage des Nachbildes auf der anderen Netzhaut correspondirend ist. Das Nachbild wird also scheinbar von der einen Netzhaut auf correspondirende Stellen der anderen übertragen. Dies ist ein gutes Beispiel für die Thatsache, dass der Doppelnetzhaut ein einfaches Sehfeld entspricht.

Je weiter die Netzhautstellen, welche man auf ihre Correspondenz untersucht, von der Stelle des directen Sehens abliegen, desto breiterer Striche oder überhaupt grösserer Objecte muss man sich statt der Linien bedienen, desto unsicherer muss aber auch die Bestimmung werden, weil die Localisirung überhaupt zunehmend unsicher wird. Dies gilt insbesondere auch von der Umgegend des blinden Flecks. Ausführliche Untersuchungen über diese nach der Peripherie zunehmende Unsicherheit in der Bestimmung der correspondirenden Stellen haben Mandelstamm[3] und Schoeler[4] und zwar ebenfalls nach der Substitutionsmethode ausgeführt. Sie fanden, dass diese Unsicherheit nicht nach allen Richtungen vom Centrum nach der Peripherie der Netzhaut gleich rasch zunimmt, vielmehr langsamer in der Richtung nach oben als in den andern Richtungen, betreffs welcher jedoch die Ergebnisse beider Beobachter nicht ganz übereinstimmen. Schoeler fand, dass die Unsicherheit in den beiden seitlichen Richtungen am schnellsten wuchs. Vergl. übrigens das VIII. Capitel.

---

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 704. Der oben Seite 358, Anm. 2 gerügte Fehler kommt hier nicht in Betracht; denn selbst wenn die beiden äusseren Fäden nicht streng parallel erscheinen, giebt man doch dem zwischen ihnen erscheinenden Faden eine symmetrische Mittellage.

2 Hering, Beiträge zur Physiologie I. S. 182.

3 Mandelstamm, Arch. f. Ophthalmologie XVIII. 2. Abth. S. 133. 1872.

4 Schoeler, ebenda XIX. 1. Abth. S. 1. 1873.

Vor Einführung der Substitutionsmethode benutzte man eine andere, viel weniger sichere Methode zur Aufsuchung der correspondirenden Stellen. Man fixirte fest einen Punkt und bestimmte für ein kleines, vom Hintergrunde gut abstechendes, indirect gesehenes Object (Linien, Fäden, Stecknadelknöpfe u. s. w.) diejenigen Orte im Aussenraum, an welchen es nicht doppelt, sondern einfach gesehen wurde. Ueber diese Methode vergl. das Capitel über die Doppelbilder.

Joh. Müller [1], welcher zuerst den Satz von der Correspondenz oder, wie er sie nennt, der Identität der Netzhäute, ausführlicher erörterte, leitete ihn nicht blos aus dem Doppel- und Einfachsehen ab, sondern bewies ihn auch mit Hülfe der Druckphosphene.

Wenn man den Augapfel mit einer stumpfen Spitze im Bereiche der Netzhaut drückt, so sieht man einen feurigen Kreis im dunkeln Sehfelde. Drückt man nun beide Augäpfel, z. B. rechterseits, so sieht man im Allgemeinen zwei Kreise nach links neben- oder übereinander, man kann aber durch passendes Verschieben der einen Spitze den einen Kreis dem anderen näher und endlich beide zur Vereinigung bringen, dann sind identische Stellen gedrückt. Ebenso gelingt der Versuch auf der linken und auf der unteren Seite der Augäpfel, minder gut an der oberen. Doch sind diese Versuche sehr angreifend. Weiter sagt Müller: „Wenn bei geschlossenen Augen im subjectiven Sehfelde Nachbilder und Blendungsbilder haften, welche, da die afficirten Stellen identisch sind, auch nur einfach gesehen werden können, so werden diese nicht zu Doppelbildern, man mag die Augen in jeder beliebigen Convergenz der Achsen bewegen“. Er that also auch auf diese Weise dar, dass das Einfachsehen der zweifach vorhandenen Netzhautbilder von der Lage auf der Netzhaut, nicht aber von der Augenstellung abhängig ist.

Die alte, insbesondere von Joh. Müller vertretene Ansicht, nach welcher die Correspondenz der Netzhäute auf einer angeborenen Einrichtung beruht, ist vielfach bestritten und behauptet worden, dass die Correspondenz der Raumwerthe auf beiden Netzhäuten erst im Laufe des individuellen Lebens erworben werde, obwohl die partielle Kreuzung der Sehnervenfasern im Chiasma und das oft mit Sicherheit beobachtete Vorkommen correspondirender partieller Lähmungen der Netzhaut beweist, dass die Correspondenz auf anatomischer Grundlage beruht. Selbst wenn man der Gesichtsempfindung jede ursprünglich räumliche Eigenschaft aberkennen und die Raumwerthe der Netzhautstellen lediglich als einen Erwerb individueller Erfahrung ansehen will, muss man auf jene Thatsachen Rücksicht nehmen und zugestehen, dass zwischen correspondirenden Stellen eine angeborene, auf anatomischer Grundlage beruhende functionelle Beziehung besteht, durch welche, möge sie nun eine sensorische oder motorische oder beides zugleich sein, der räumlichen Auslegung der von Deckstellen kommenden Empfindungen von vornherein eine bestimmte Bahn angewiesen wird.

Dass schon die Gesichtsempfindungen des Neugeborenen räumliche Eigenschaften haben, deren genauere Unterscheidung derselbe allerdings ebenso erlernen muss, wie er die feineren qualitativen Verschiedenheiten

1 Joh. Müller, Zur vergleich. Physiologie des Gesichtssinns S. 71. 1826.

der Empfindung erst allmählich zu erfassen erlernt, dies ist eine Annahme, zu welcher der Physiolog vollkommen berechtigt ist, weil manche Thiere schon unmittelbar nach der Geburt aus Mutterleib oder Ei sichere räumliche Wahrnehmungen machen.

ZWEITES CAPITEL.

Die Localisirung im ebenen Sehfelde.

Die Anordnung des in einem gegebenen Sehfelde Erscheinenden ist unter Vermittlung des Doppelnetzhautbildes in gesetzmässiger Weise abhängig von der Anordnung der entsprechenden Dinge im Aussenraume.

Um zu untersuchen, inwieweit günstigsten Falls jene scheinbare und diese wirkliche Anordnung übereinstimmen, hat man meist den einfachen Fall gewählt, in welchem die Aussendinge in einer Ebene liegen, deren scheinbare Lage im Sehraume mit ihrer wirklichen Lage möglichst übereinstimmt, so dass die Ebene des Sehfeldes sich mit der des wirklichen Objectfeldes entweder deckt, oder wenigstens ihr parallel ist. Letzteren Falls werden zwar die im Objectfelde liegenden Figuren in falscher Entfernung und falscher Grösse gesehen, aber ihre relative Anordnung im Sehfelde wird dadurch nicht alterirt. Damit alle in einer Ebene gelegenen Punkte sich auf Deckstellen abbilden, wäre nöthig, dass dieselbe im Punkthoropter (vergl. Capitel III) läge. Eine Ebene als Punkthoropter scheint aber nur möglich, wenn der Blickpunkt sehr fern ist; es müssten denn die Deckpunkte etwas anders angeordnet sein, als es nach den bisherigen Untersuchungen angenommen werden muss. Man ist deshalb darauf angewiesen, nur mit einem Auge zu untersuchen, was hier deshalb angeht, weil, wie wir gesehen haben, das nur mit einem Auge Gesehene in einem gegebenen Sehfelde ganz in derselben Anordnung erscheint, als ob es bei derselben Augenstellung mit correspondirenden Punkten beider Netzhäute gesehen würde.

Bei Primärstellung des Kopfes und der Augen ist es verhältnissmässig am leichtesten, ein bestimmt gelegenes, nämlich ein vertikales und zur scheinbaren Frontalebene paralleles Sehfeld zu bekommen. Wir haben schon oben gefunden, dass, wenn man vor das Gesicht einen der Frontalebene parallelen vertikalen Schirm anbringt, auf

welchem sich gerade gegenüber jedem Auge je ein Fixationspunkt befindet, man anderweite auf diesem Schirme gelegene, dem einen oder dem andern Auge sichtbare Linien in einer der scheinbaren Frontalebene nahezu parallelen Ebene sieht. Nur die scheinbare Entfernung dieses ebenen Sehfeldes entspricht nicht immer der wirklichen Entfernung des Schirmes.

Wir wählen also als Objectfeld eine zur Gesichtslinie des einen Auges senkrechte Ebene, und benützen dazu eine Scheibe der oben beschriebenen haploskopischen Vorrichtung, auf welcher wir die zur Untersuchung bestimmten Linien und Punkte anbringen. Um zu erreichen, dass trotz einäugigem Sehen auch das andere Auge immer genau die vorgeschriebene Stellung beibehält, machen wir auf die Mitte der anderen, leeren Scheibe eine Marke, welche diesem Auge als Fixationspunkt dient, so dass dasselbe also nur die Marke und im Uebrigen eine gleichmässige leere Fläche sieht. Brauchen wir ein grösseres Objectfeld, als die Scheibe bietet, so bringen wir vor das Auge, welches nur die Marke sehen soll, einen verticalen Spiegel (*ss*. Fig. 6), der unter 45° zur Gesichtslinie geneigt ist, wie es die Figur schematisch im Durchschnitte darstellt, und können nun ein grosses Objectfeld (*o o*) in beliebiger Entfernung vom andern Auge aufstellen, während eine gleich grosse aber leere Scheibe (*o' o'*) mit der Marke (*f'*) so seitwärts aufgestellt wird, dass ihr Spiegelbild in dieselbe Entfernung wie das Objectfeld (*o o*) zu liegen kommt.

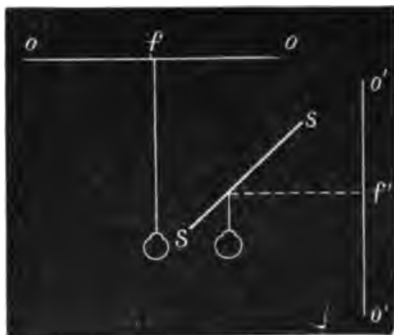


Fig. 6.

Lassen sich die Figuren, welche das eine Auge sehen soll, auf einer entfernten, zur Gesichtslinie senkrechten Wand anbringen, so stellt sich die Gesichtslinie des andern Auges, auch wenn dasselbe verdeckt oder geschlossen ist, wenigstens annähernd mit auf den vom offenen Auge fixirten Punkt ein, so dass dann beide Gesichtslinien nicht erheblich vom Parallelismus abweichen. Man braucht dann, wenn es nicht auf besondere Genauigkeit ankommt, für dieses Auge keine besondere Vorrichtung, um es mit Hilfe eines Fixationspunktes in die richtige Stellung zu bringen.

Wenn man die beschriebenen Vorsichtsmaassregeln ausser Acht lässt, kann man grosse Fehler begehen. Die Anordnung des im Sehfelde Er-

scheinenden hängt beim einäugigen Sehen keineswegs blos von der Anordnung der Netzhautbilder und also mittelbar von der Anordnung der entsprechenden Aussenobjecte, sondern auch von der Lage und Form des Sehfeldes ab, in welchem sie erscheinen.[1]

Zwei verticale Coconfäden, hinter welche man ein Blatt so hält, dass der obere Rand desselben vom Gesichte weggeneigt ist, können bei einäugiger Betrachtung als zwei nach oben divergirende Linien auf dem Blatte erscheinen. Das Sehfeld ist dann zur wirklichen Ebene der Fäden geneigt. Rechtwinklige Kreuze können auf diese Weise schiefwinklig, Kreise als Elipsen gesehen werden; gerade Fäden können, wenn sie auf einer dahinter gelegenen Kugelfläche gesehen werden, gekrümmt erscheinen u. A. m. Auch auf die Stellung des anderen Auges, welches geschlossen ist oder wenigstens die zum Versuche benutzten Linien u. s. w. gar nicht sieht, kommt es oft an, wie später gezeigt werden wird. Deshalb muss, wenigstens bei einem Theil der hierhergehörigen Beobachtungen, die Stellung dieses Auges controlirt und ihm insbesondere die Primärstellung gegeben werden.

Soll eine durch den fixirten Punkt des Objectfeldes gehende Gerade unter den hier gegebenen Umständen vertical erscheinen, so muss sie, wie besonders VOLKMANN[2] ausführlich dargelegt hat, so gelegen sein, dass sie sich auf dem mittlen Längsschnitt der Netzhaut abbildet, soll sie horizontal erscheinen, so muss ihr Bild auf dem mittlen Querschnitte der Netzhaut liegen. Ersterenfalls muss die Gerade also bei den meisten Beobachtern für das linke Auge mit dem oberen Ende nach links, für das rechte nach rechts geneigt sein, wenn sie vertical erscheinen soll. Die mittlen Querschnitte der Netzhäute sind unter den hier gegebenen Bedingungen bei den meisten Beobachtern horizontal oder wenig mit dem äusseren Ende unter die Horizontalebene geneigt; deshalb wird die horizontal scheinende Linie des Objectfeldes ebenfalls horizontal oder ein wenig mit dem äusseren Ende nach unten geneigt sein.

Jede der fixirten und scheinbar verticalen Geraden des Objectfeldes parallele Linie erscheint, wenn sie nicht zu lang ist, ebenfalls vertical, jede, der fixirten und scheinbar horizontalen Geraden parallele und nicht zu lange Linie ebenfalls horizontal. HELMHOLTZ hat in Fig. 7 schematisch dargestellt, welche Lage solche Linien im Objectfelde für sein rechtes und linkes Auge haben müssen, um ihm vertical, beziehentlich horizontal zu erscheinen.[3] Für Beobachter,

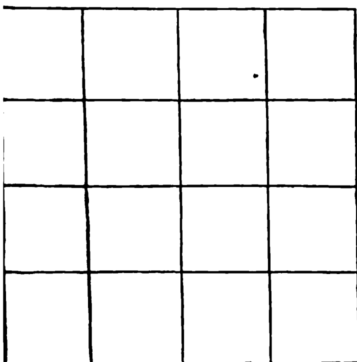
---

1 Vgl. HERING, Beiträge zur Physiologie II. § 52—54. 1862 und VOLKMANN, Physiol. Untersuchungen I. S. 139. 1863.

2 VOLKMANN, Physiol. Untersuchungen im Gebiete der Optik II. 1864.

3 Bei haploskopischer Vereinigung der beiden Hälften der Figur deckten sich für HELMHOLTZ die weissen und die schwarzen Linien, ohne eigentlich zu verschmelzen, weil dies durch ihre verschiedene Farbe verhindert wird.

deren Netzhäute eine geringere oder gar keine Incongruenz zeigen, müssen die scheinbar verticalen Linien des Objectfeldes entsprechend weniger oder gar nicht zu den scheinbar horizontalen Linien des Objectfeldes geneigt sein.



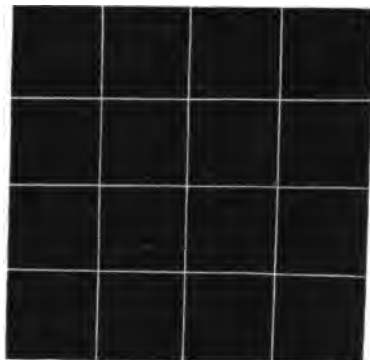


Fig. 7.

Aus dem Erörterten folgt, dass ein im Objectfelde gelegenes rechtwinkliges Kreuz, dessen einer Schenkel vertical, der andere horizontal liegt, weder mit dem rechten noch mit dem linken Auge gesehen rechtwinklig erscheint, sondern dass ersterenfalls der rechte obere und der linke untere, letzterenfalls der linke obere und der rechte untere Winkel etwas grösser als ein Rechter gesehen wird, immer vorausgesetzt, dass die Incongruenz der Netzhäute bei dem Beobachter vorhanden ist. Um das Kreuz rechtwinklig zu sehen, muss man den verticalen Schenkel für das rechte Auge mit dem oberen Ende etwas nach rechts, für das linke entsprechend nach links neigen, so dass das wirkliche Kreuz etwas schiefwinklig wird. Der Winkel, unter welchem sich die beiden Schenkel durchschneiden, entspricht dem Winkel, unter welchem der mittle Längsschnitt zum mittlen Querschnitt der Netzhaut geneigt ist.

Bei den bis jetzt erörterten Thatsachen kam es auf eine bestimmte Lage der im Objectfelde gelegenen Linien in Beziehung auf die Lage der Netzhautquerschnitte an; für die folgenden ist die Lage der beobachteten Linien im Objectfelde gleichgültig.

Jede durch die Fixationspunkte gehende Gerade des Objectfeldes erscheint auch im Sehfelde als eine Gerade.[1] Nicht dasselbe gilt von den ausserhalb des Fixationspunktes verlaufenden Geraden.

---

1 Vergl. jedoch die im vorigen Capitel S. 359 erwähnte Beobachtung v. Recklinghausen's und Berthold's.

Es wurde oben gesagt, dass die indirect gesehenen Geraden im Objectfelde, welche der fixirten scheinbar Verticalen oder Horizontalen parallel erscheinen sollen, nicht zu lang sein dürfen. Erstrecken sie sich nämlich zu weit über das Objectfeld, so erscheinen sie gekrümmt derart, dass sie ihre Concavität dem Fixationspunkte zuwenden. Jede zwei beliebig gerichtete parallele Geraden im Objectfelde, die den Fixationspunkt zwischen sich haben, erscheinen gegen letzteren etwas concav und also nach beiden Seiten schwach convergirend.[1] Wollte man sie als zwei parallele Gerade sehen, so müsste man ihnen auf dem Objectfelde eine schwache entgegengesetzte Krümmung geben. Diese Scheinkrümmung der indirect gesehenen geraden Linien ist um so grösser, je weiter sie vom Fixationspunkte abliegen, ohne dass sich jedoch wegen der dann zunehmenden Unsicherheit der Localisirung ein genaues Maass der Krümmung angeben lässt.

Helmholtz[2] hat später auf Grund einer Hypothese, welche im II. Abschnitt zu erörtern sein wird, die Krümmung bestimmt, welche indirect gesehene Linien seiner Ansicht nach haben müssen, um als Gerade zu erscheinen, und diese Krümmungen durch Fig. 8 dargestellt. Die Strecke *ee* bedeutet den Abstand, in welchem man sich das beobachtende Auge senkrecht über dem Mittelpunkte der Figur zu denken hat, wenn dasselbe die hyperbolisch gekrümmten Linien der Zeichnung als parallele Gerade sehen soll. Die Figur, deren sich Helmholtz zum Versuche bediente, war im Verhältniss von 16:3 grösser als Figur 8 und an einer verticalen Wand befestigt; sie wurde aus einer Entfernung von 20 Cm. in ihrem Mittelpunkte fest fixirt, wobei die Gesichtslinie senkrecht zur Wand lag.

Nach einer Beobachtung von Küster[3], welcher mit Reihen electrischer Funken im Dunkelraume experimentirte, müssten die Linien

---

1 Hering, Beiträge zur Physiologie III. S. 189. 1863. Schon früher hatte v. Recklinghausen (Arch. f. Ophthalmologie V. 2. Abth. S. 127. 1859) und Nagel (Das Sehen mit zwei Augen S. 108. 1861) solche Scheinkrümmungen an den Doppelbildern von geraden Linien beobachtet, die jedoch zum Theil auf die im I. Capitel S. 359 erwähnten Scheinkrümmungen verticaler Linien zurückzuführen sind.

2 Helmholtz, Physiol. Optik S. 553.

3 Küster, Arch. f. Ophthalmologie XXII. 1. Abth. S. 149. Küster selbst glaubte allerdings durch seine Versuche die Angaben von Helmholtz streng erwiesen zu haben. Die Construction des von ihm benutzten Apparates beruht jedoch auf einem Missverständniss dessen, was Helmholtz unter den Directions- oder Richtungskreisen des Sehfeldes versteht. Der dadurch eingeführte Fehler hat aber nicht viel auf sich, um so weniger als die Localisirung im indirecten Sehen etwas Unsicheres hat und man dabei immer zum Schematisiren d. h. im besonderen Falle eher dazu geneigt ist, eine Linie oder Funkenreihe als geradlinig denn als krumm anzusehen. Deshalb müsste eine experimentelle Untersuchung der Hypothese von Helmholtz nach der Methode der mittlen Fehler angestellt werden, wenn sie streng beweiskräftig sein sollte.

eine etwas schwächere hyperbolische Krümmung als die der Fig. 8 haben, um unter den genannten Umständen als Gerade zu erscheinen.

Der beschriebenen Scheinkrümmung der geraden Linien des Objektfeldes entspricht es nun ferner, dass eine Scheibe, ein Quadrat

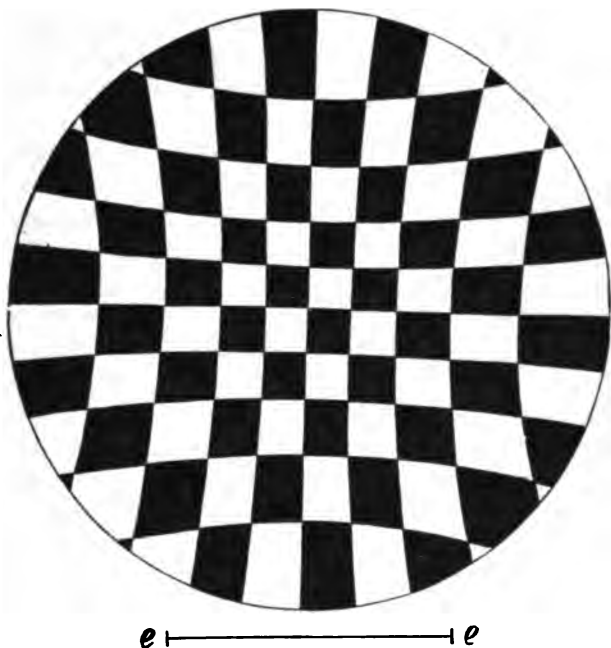


Fig. 8.

oder dergleichen um so kleiner erscheinen, je excentrischer sie im ebenen Objectfelde liegen. v. WITTICH[1] und AUBERT[2] haben einige derartige Beobachtungen mitgetheilt. HELMHOLTZ[3] hat dann darauf hingewiesen, dass diese scheinbare Verkleinerung in der radialen Richtung des Sehfeldes bedeutender ist, als in der tangentialen. Die Fig. 8 zeigt dies nach HELMHOLTZ's Angabe ebenfalls. Dieselbe erschien ihm aus passender Entfernung gesehen, wie ein Schachbrett mit quadratischen und also überall gleich grossen Feldern. Eine kreisförmige Scheibe auf dem ebenen Objectfelde erschien ihm, wenn sie peripher lag, elliptisch, so dass der kurze Durchmesser in Bezug auf die Mitte des Sehfeldes radial gerichtet war.

1 v. WITTICH, Arch. f. Ophthalmologie IX. 3. S. 10. 1863.
2 AUBERT, Physiologie der Netzhaut S. 252. 1865.
3 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 554.

Man kann also die Scheinkrümmungen der Geraden und die Scheinverkleinerung der indirect gesehenen Theile des Objectfeldes, welche in der radialen Richtung stärker ist, als in tangentialer, unter eine allgemeine Regel bringen, indem man sagt: die scheinbare Anordnung des im ebenen Objectfelde Liegenden ist derart, als ob das Objectfeld sich allerseits in radialer Richtung zusammengezogen hätte, jedoch so, dass die Grösse dieser Zusammenziehung auf dem peripheren Theile des Objectfeldes stärker wäre, als auf dem mehr centralen. Stellt *abc* Fig. 9 einen Sector des Objectfeldes vor, so würden z. B. die Punkte *a* und *b* wegen der radialen Contraction des Sehfeldes in α und β zu liegen scheinen, *c* und *d* würden ihren scheinbaren Ort in γ und δ haben. Die Figur *abdc* des Objectfeldes würde also im Sehfelde durch die Figur $\alpha\beta\delta\gamma$ vertreten, und wie man sieht, in radialer Richtung stärker verkleinert erscheinen, als in tangentialer. Sollte die Verkleinerung eine gleichmässige sein, so müsste die radiale Scheinverschiebung jedes Objectpunktes proportional seinem Abstande vom Mittelpunkte sein.



Fig. 9.

Aus dieser Regel lassen sich die Unähnlichkeiten zwischen der wirklichen Anordnung der Dinge im ebenen Objectfelde und ihrer scheinbaren im ebenen Sehfelde ableiten; allerdings nur dem Sinne nach, nicht auch dem Maasse nach. Doch liegen über Letzteres noch zu wenig Untersuchungen vor, um darüber etwas Bestimmtes aussagen zu können.

Spitze Winkel erscheinen zu gross, stumpfe zu klein. In Fig. 10 ist *ad* in Wirklichkeit eine Gerade, doch erscheint die rechte Hälfte dieser Linie nicht als Fortsetzung der linken, sondern etwas nach oben verschoben. Vielmehr erscheint *ad'* als eine Gerade, obwohl die beiden Hälften derselben in Wirklichkeit gegen einander verschoben sind. Fig. 11 zeigt, wie diese Täuschung durch das Falschsehen der Winkel bedingt ist. Der wirkliche spitze Winkel *ncd* erscheint zu gross, etwa als Winkel *ncd''*. Ebenso erscheint statt des wirklichen Winkels *abm* der Winkel *a'bm*. Die Verlängerung des Schenkels *a'b* würde die Gerade *on* in *c'* treffen. Hier also und nicht in *c* müsste die wirkliche Linie *cd* ansitzen, um als Fortsetzung der wirklichen Linie *ab* zu erscheinen. Legen wir nun im Punkte *c'* eine andere wirkliche Linie *c'd'* unter demselben Winkel

an, so erscheint sie in $c' d'''$, also als scheinbare Verlängerung der scheinbaren Linie $a' b$.

Durch das Falschsehen eines Winkels bekommen eigentlich beide Schenkel desselben eine veränderte Lage im Sehfelde, doch wird sie je nach den Umständen bald mehr auf den einen, bald mehr auf den andern Schenkel bezogen. In Fig. 12[1] erscheinen die langen schrägen wirklich parallelen Geraden nicht parallel, weil jede Gerade gleichsam aus einer Anzahl Winkelschenkeln besteht, deren jeder im Vergleich zu seiner wirklichen Lage verschoben erscheint. Da also jeder Bruchtheil der Linie eine falsche scheinbare Richtung hat, so erscheint auch die ganze Linie in falscher Richtung.

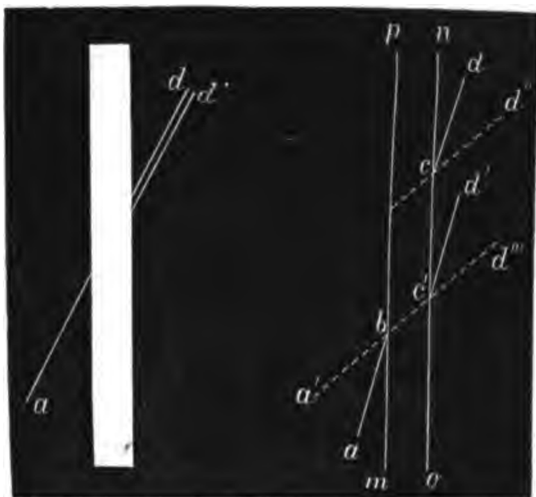


Fig. 10. Fig. 11.

Dass die Täuschung über die Lage der parallelen langen Linien in Fig. 12 und ähnlichen Figuren sich im Wesentlichen auf ein Falschsehen der Winkel zurückführen lässt, wurde von Hering[2] gezeigt. Da solche Täuschungen auch im Nachbilde deutlich fortbestehen, so lassen sie sich nicht allein als aus der Augenbewegung resultirend ansehen, durch welche, wie Helmholtz[3] angab, die Täuschung bedeutend vergrössert wird. Ueber verschiedene Versuche einer Erklärung des Falschsehens der schiefen Winkel vergl. insbesondere Helmholtz und den II. Abschnitt.


Fig. 12.

1 Die Figur ist eine auf noch stärkere Täuschung berechnete Abänderung eines von Zöllner mitgetheilten Musters. Ann. d. Physik CX. S. 500. 1860.
2 Hering, Beiträge zur Physiologie I. § 26. 1861.
3 Helmholtz, Physiol. Optik S. 564.

Im Zöllner'schen Muster stehen die langen Parallellinien vertical, doch fand schon Zöllner, dass die Täuschung am grössten ist, wenn diese Linien unter 45° zur Blickebene geneigt sind. Solche Linien werden nämlich am unsichersten localisirt, während von horizontalen und verticalen Linien das Gegentheil gilt (vergl. Abschnitt II.). Die Folge ist, dass die Scheinverschiebung bei schräger Lage der langen Linien zum grössten Theile diese betrifft, während sie bei verticaler oder horizontaler Lage derselben vorzugsweise den dann schrägen kurzen Linien zufällt.

Ueber die Localisirung der in der Umgebung des blinden Flecks gelegenen Netzhautbilder bestehen zwischen den verschiedenen Beobachtern widerstreitende Meinungen. E. H. Weber[1], Fick[2], Volkmann[3], Helmholtz[4] meinen, dass die den blinden Fleck umgebenden Bilder so lokalisirt werden, wie es ihrer Lage im Vergleich zu den übrigen Theilen des Netzhautbildes entspricht, als ob also die empfindliche Netzhautschicht an der blinden Stelle gar nicht unterbrochen wäre. v. Wittich[5] dagegen giebt an, dass ihm die umgebenden Bilder in der Richtung nach der Stelle des blinden Fleckes verzogen erscheinen, etwa so, als ob die Grenztheile der vom Sehnerv durchbrochenen empfindlichen Schicht unmittelbar zusammenstiessen. Funke[6] meint, dass je nach den Umständen bald die eine, bald die andere Art der Localisirung eintrete. Alle stimmen darin überein, dass die Continuität des Sehfeldes trotz der Lücke in der empfindlichen Schicht nicht unterbrochen ist und dass das, was man an der entsprechenden Stelle des Sehfeldes zu sehen meint, ganz abhängig ist von dem, was sich auf den angrenzenden Theilen der Netzhaut abbildet.

Man denke sich die Netzhaut als eine mit den Netzhautbildern bemalte Kautschukplatte und in dieselbe an der Stelle des blinden Fleckes ein Loch geschlagen, so lassen sich hieran die verschiedenen Ansichten über die sogenannte Ausfüllung des blinden Fleckes veranschaulichen: 1) die Bilder in der Umgebung des Loches erscheinen so, als ob dasselbe durch Contraction seiner dehnbaren Umgebung zum Verschwinden gebracht worden wäre, wobei der unmittelbar angrenzende Theil der Kautschukplatte sammt den aufliegenden Farben (Empfindungen) am stärksten, die weitere Nachbarschaft weniger gedehnt wurde. 2) Die Bilder erscheinen so, als ob nur ein ganz schmaler Saum im Umkreis des Loches sammt seiner Farbe (Empfindung) so stark gezerrt worden wäre, dass dadurch das Loch geschlossen wurde, während die weitere Nachbarschaft des Loches gar nicht von der Dehnung betroffen wurde. 3) Das Loch

1 E. H. Weber, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1852. S. 149.
2 Fick, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1853. S. 396.
3 Volkmann, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. April 1853. S. 27.
4 Helmholtz, Physiol. Optik S. 578.
5 Funke, Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg in Br. III. 3.

ist eigentlich immer vorhanden, aber unsere Phantasie füllt dasselbe so aus, wie es auf Grund der umgebenden Bilder am Einfachsten und Wahrscheinlichsten ist. 4) Man kann das Loch, obwohl es da ist, ebenso wenig sehen, wie die Peripherie der Kautschukplatte; auch ringsum hat das Sehfeld eine Grenze, aber wir sehen sie ebensowenig wie den Rand der Lücke, welche dem blinden Flecke entspricht.

DRITTES CAPITEL.

Der Horopter.

Auf Grundlage der im ersten Capitel empirisch festgestellten Anordnung der correspondirenden Punkte der beiden Netzhäute lässt sich für jede gegebene Augenstellung berechnen, welche Punkte des Aussenraumes in der Lage sind, sich auf Deckpunkten abzubilden, oder anders gesagt, in welchen Punkten des Aussenraumes sich correspondirende Richtungslinien schneiden. Man muss dabei freilich die empirisch gewonnenen Ergebnisse mehr oder weniger schematisiren und insbesondere auch annehmen, dass die, einem bestimmten Netzhautpunkte beim Sehen in die Ferne zugehörende Richtungslinie ihre Lage im Auge nicht ändert, wenn dasselbe sich für die Nähe accommodirt.

Denkt man sich durch die Gesichtslinie und den mittlen Längsschnitt der Netzhaut eine Ebene und in diese Ebene eine zur Gesichtslinie senkrechte Gerade gelegt, so lassen sich durch diese Gerade noch unendlich viele Ebenen legen, deren jede die Netzhaut in einem anderen Längsschnitte schneidet.

Dieses System von Ebenen stellt ein sogenanntes Ebenenbüschel dar. Jede dieser Ebenen heisse eine Längsschnittebene, und das ganze System das Büschel der Längsschnittebenen.

Analog denke man sich durch die Gesichtslinie und den mittlen Querschnitt der Netzhaut eine Ebene und in diese eine zur Gesichtslinie rechtwinklige Gerade gelegt. Jede andere durch diese Gerade gelegte Ebene schneidet die Netzhaut in einem andern Querschnitte und heisse eine Querschnittebene; die Gesammtheit aller möglichen Querschnittebenen heisse das Büschel der Querschnittebenen.

Bestimmt man bei einer gegebenen Augenstellung für zwei Längsschnittebenen, welche correspondirenden Längsschnitten entsprechen,

und deshalb correspondirende Längsschnittebenen heissen sollen, deren Durchschnittslinie im Aussenraume, so muss jeder Punkt dieser geraden Linie sich auf correspondirenden Längsschnitten abbilden, weil sich in ihm Richtungslinien durchschneiden, welche correspondirenden Längsschnitten der Netzhaut, wenn auch im Allgemeinen nicht correspondirenden Punkten dieser Längsschnitte angehören. Die Bilder eines in jener Geraden liegenden Punktes können also, wenn sie nicht im besonderen Falle auf Deckpunkten liegen, nur eine Längsdisparation haben.

Da jede zwei correspondirende Längsschnittebenen sich in einer solchen Geraden schneiden, so giebt es immer eine unendliche Zahl oder eine sogenannte Schaar solcher Geraden, welche in ihrer Gesammtheit eine Fläche darstellen, und zwar im Allgemeinen eine geradlinige Fläche zweiten Grades. Diese Fläche heisst der Längshoropter (Hering) oder Verticalhoropter (Helmholtz) deshalb, weil sie, soweit sie im binocularen Gesichtsraum liegt, die Gesammtheit derjenigen Aussenpunkte darstellt, welche bei der gegebenen Augenstellung sich auf correspondirenden Längsschnitten abbilden, und deren Bilder also nur Längsdisparation haben können, nicht aber quere Disparation.

In ganz analoger Weise stellt die Gesammtheit aller Geraden, in welchen sich je zwei correspondirende Querschnittebenen durchschneiden, im Allgemeinen eine geradlinige Fläche zweiten Grades dar, welche der Querhoropter oder Horizontalhoropter heisst, weil sie jeden Aussenpunkt enthält, der sich bei der gegebenen Augenstellung auf correspondirenden Querschnitten abbildet, dessen Bilder also nur quere Disparation haben.

Jede Gerade, welche im Längshoropter liegt, bildet sich auf correspondirenden Längsschnitten ab, und obwohl dabei die Bilder der einzelnen Punkte der Geraden nicht auf Deckpunkte fallen, so decken sich doch gleichsam die beiderseitigen Bilder im Ganzen, weil die Disparation der Bilder jedes Einzelpunktes in der Richtung des Linienbildes selbst stattfindet. Analoges gilt vom Querhoropter. Deshalb bezeichnete Helmholtz diese beiden Flächen auch als den verticalen und horizontalen Linienhoropter, während Hering sie Partialhoropter genannt hatte. Der fixirte Punkt gehört, da er sich auf Deckpunkten, also zugleich auf correspondirenden Längsschnitten und Querschnitten abbildet, sowohl dem Längs- als dem Querhoropter an. Ausserdem giebt es stets noch eine zusammenhängende Reihe von Punkten, von welchen dasselbe gilt, welche also den beiden Partial- oder Linearhoroptern gemeinsam sind, und

in der Durchschnittslinie dieser beiden Flächen gelegen sind. Die Gesammtheit dieser Punkte liegt, wie HERING und HELMHOLTZ zeigten, im Allgemeinen auf einer Curve doppelter Krümmung und dritten Grades. Sie heisst Punkthoropter (HELMHOLTZ) oder Totalhoropter (HERING), weil jeder in ihr und im binocularen Gesichtsraum gelegene Punkt sich auf Deckpunkten abbildet.

In besonderen Fällen hat der Durchschnitt der genannten beiden Linearhoroptoren eine einfachere Gestalt, und diese Grenzfälle sind von vorwiegendem Interesse, daher sie im Folgenden allein berücksichtigt werden.

Im Capitel über die Augenbewegungen wird gezeigt werden, dass unsere Augen, wenn die Kopfstellung zwanglos gewählt werden kann, sowohl beim Fern- als beim Nahsehen meist so gestellt sind, dass die queren Mittelschnitte beider Netzhäute genau oder sehr annähernd parallel gestellt sind. Unter dieser besonderen Bedingung ergeben sich für die verschiedenen Augenstellungen folgende Linear- und Punkthoropteren.

1. Der Horopter bei symmetrischer Parallelstellung der Gesichtslinien. Jede zwei correspondirende Querschnittebenen fallen zusammen, weil die Axen der beiden Büschel der Querschnittebenen zusammenfallen.

Der Querhoropter ist also der ganze binoculare Gesichtsraum.

In denjenigen Augen, deren mittle Längsschnitte rechtwinklig zu den mittlen Querschnitten sind, liegen jede zwei correspondirende Längsschnittebenen parallel, schneiden sich also in der Unendlichkeit. Der Längshoropter ist mathematisch genommen eine unendlich ferne zu den Gesichtslinien senkrechte Ebene, praktisch genommen der ganze über eine gewisse Entfernung hinaus gelegene Raum, weil minimale Abweichung zweier correspondirender Richtungslinien vom Parallelismus nicht in Betracht kommen kann.

Die genannte unendlich ferne Ebene ist zugleich der mathematische Punkthoropter. Praktisch genommen ist es der ganze über eine gewisse Entfernung hinaus gelegene, binocular sichtbare Raum.

Sind die mittlen Längsschnitte, wie in den meisten Augen, zu den mittlen Querschnitten in der oben erörterten Weise geneigt, so ist der Längshoropter eine in endlicher Entfernung unterhalb der Blickebene gelegene und mit dieser parallele Ebene; dieselbe ist, da sie auch dem Querhoropter angehört, zugleich der Punkthoropter. HELMHOLTZ giebt

an, dass für seine Augen diese Ebene mit der Horizontalebene des Fussbodens nahebei zusammenfällt, wenn seine Blickebene horizontal liegt.

2. Horopter bei symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien. Jede zwei correspondirende Querschnittebenen schneiden sich in der Medianebene, die Ebenen der beiden mittlen Querschnitte fallen zusammen, und der Querhoropter besteht also aus der Medianebene und der Blickebene.

Für Augen, deren mittle Längsschnitte rechtwinklig zu den mittlen Querschnitten sind, schneiden sich je zwei correspondirende Längsschnittebenen in einer zur Blickebene senkrechten Geraden. Die Schaar dieser Geraden bildet einen zur Blickebene senkrechten Kreiscylinder, welcher durch den Blickpunkt und in seiner ausserhalb des binocularen Gesichtsraumes liegenden Fortsetzung durch die beiden Knotenpunkte der Richtungslinien geht. Dieser Cylinder ist der Längshoropter. Der Punkthoropter besteht aus dem in der Blickebene durch den Blickpunkt und beide Kreuzungspunkte der Richtungslinien gelegten Kreise, dem sogenannten MÜLLER'schen Horopterkreise, und aus einer zur Blickebene senkrechten Geraden, die auf dem Punkte des Kreises steht, in welchem derselbe die Medianebene durchschneidet, d. i. also hier zugleich der Blickpunkt.

Es ist bemerkenswerth, dass dieser Punkthoropter genau derselbe bleibt, auch wenn die Gesichtslinien unsymmetrisch convergiren, weil dabei auch der Längshoropter derselbe ist, und der Querhoropter aus der Blickebene und einer zu ihr senkrechten Ebene besteht, welche jetzt zwar mit der Medianebene einen Winkel einschliesst, dieselbe aber stets in der eben genannten Geraden des Punkthoropters schneidet.

Für Augen, deren mittle Längsschnitte nicht rechtwinklig zu den mittlen Querschnitten liegen, besteht der Querhoropter wieder aus der Blickebene und der Medianebene.

Der Längshoropter aber ist eine Kegelfläche, deren Spitze unterhalb der Blickebene liegt. Diese Kegelfläche durchschneidet die Blickebene in dem eben besprochenen, durch den Blickpunkt und beide Kreuzungspunkte gehenden Kreise, die Medianebene aber in einer durch den Blickpunkt gehenden Geraden, welche zur Blickebene derart geneigt ist, dass ihr oberer Theil dem Gesichte ferner liegt. Die Neigung derselben zur Blickebene ist um so stärker, je weiter der Blickpunkt von den Augen abliegt.

Dieser Kreis (MÜLLER'scher Kreis) und diese zur Blick-

ebene geneigte und durch den Blickpunkt gehende Gerade bilden also den Punkthoropter.

Im Hinblick auf das Folgende sei nur noch erwähnt, dass auch für Augen mit Netzhautincongruenz der Längshoropter zu einem senkrecht zur Blickebene stehenden, durch Blickpunkt und beide Knotenpunkte gehenden Kreiscylinder wird, so oft die mittlen Längsschnitte senkrecht zur Blickebene liegen. Die Blickebene gehört dann aber nicht zum Querhoropter, und der MÜLLER'sche Kreis nicht mehr zum Punkthoropter.

3. Der Meridianhoropter, Längshoropter und Querhoropter sind, wie wir sahen, geradlinige Flächen, welche dadurch charakterisirt sind, dass jede in ihnen gelegene Gerade sich auf correspondirenden Netzhautlinien abbildet. Derartige Flächen zweiten Grades, Partial- oder Linienhoropteren, giebt es aber noch unendlich viele; doch knüpft sich bis jetzt nur noch an eine derselben ein besonderes Interesse. Diese ist dadurch ausgezeichnet, dass jede in ihr gelegene Gerade sich auf correspondirenden Meridianen abbildet; sie heisst daher der Meridianhoropter (HERING).

Derselbe ist bei symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien im Allgemeinen eine Kegelfläche (Doppelkegelmantel), deren Mittelpunkt (Spitze) im Blickpunkte liegt. Im besonderen Falle, wo correspondirende Meridiane in der Blickebene liegen, geht diese Fläche in zwei Ebenen über, deren eine für Augen ohne Netzhautincongruenz die Blickebene, die andere die im Blickpunkte senkrecht zur Blickebene und zur Medianebene stehende Ebene ist.

Die Aufgabe, auf Grund einer gegebenen Anordnung der Deckpunkte den Horopter zu bestimmen, ist eine rein mathematische, und ihre ausführliche Lösung darf deshalb hier übergangen werden. Eine allgemeine Auflösung des Problems mit Hülfe der STEINER'schen Geometrie hat HERING[1] gegeben, eine analytische HELMHOLTZ.[2] Von diesem mathematischen oder theoretischen Horopter hat man den empirischen Horopter unterschieden, d. i. den Inbegriff aller Stellen des binocularen Gesichtsraumes, an welchen bei gegebener Augenstellung kleine deutliche Objecte einfach, nicht in Doppelbildern, erscheinen. Vergleiche hierüber das Capitel über die Doppelbilder. Ueber den Versuch einer empirischen Bestimmung des Längshoropters nach anderer Methode vergleiche das Capitel über das Sehen mit disparaten Netzhautstellen.

1 HERING, Beiträge zur Physiologie IV. 1864.
2 HELMHOLTZ, Arch. f. Ophthalmologie X. 1. S. 1. 1864 und Physiol. Optik S. 745.

VIERTES CAPITEL.

Von der Prävalenz und dem Wettstreite der Conturen.

Wenn wir den Sternhimmel oder andere sehr ferne Dinge betrachten, so liegen die Bilder aller binocular gesehenen Objectpunkte genau oder sehr annähernd auf Deckstellen. Je zwei Deckstellen werden also in derselben Weise von Lichtstrahlen gereizt. Dies ist nicht mehr der Fall, wenn die Netzhäute Bilder von Dingen empfangen, welche nicht im Horopter liegen; dann können die Bilder zweier verschiedener Aussendinge auf Deckstellen fallen. Es ist also zu untersuchen, wie sich das räumliche Sehen verhält, wenn correspondirende Netzhauttheile verschieden gestaltete Bilder erhalten, wobei correspondirende Punkte dieser Theile verschieden gereizt werden.

Bei den im ersten Capitel beschriebenen haploskopischen Versuchen haben wir hierüber schon einige Erfahrungen gesammelt. Dabei boten wir z. B. dem linken Auge eine vom Mittelpunkte der ihm gegenüber liegenden Scheibe nach oben, dem rechten Auge in analoger Weise eine nach unten laufende schwarze Halblinie auf weissem Grunde. Den nicht durch Licht gereizten Netzhautstellen, auf welchen im einen Auge das Bild einer schwarzen Halblinie lag, gehörten im andern Auge Deckstellen zu, welche von weissem Lichte erregt wurden. Gleichwohl sahen wir beide Halblinien schwarz. Die Reizung derjenigen Netzhautstellen, auf deren zugehörigen Deckstellen im andern Auge das Bild der schwarzen Halblinie lag, löste also keine wahrnehmbare Empfindung aus, sondern blieb so zu sagen latent. Dasselbe würde der Fall gewesen sein, wenn wir die Halblinien beiderseits farbig auf andersfarbigem Grunde gemacht hätten.

Zeichnen wir auf die Mitte der linken Scheibe des Haploskops ein Sternchen und links davon den Buchstaben *A*, auf die Mitte der rechten Scheibe ein gleiches Sternchen, und rechts davon den Buchstaben *C*, wie es hier dargestellt ist,

A *   * C

A * C

so sehen wir, wenn jede Gesichtslinie auf das Kreuzchen ihrer Seite eingestellt ist, beide Buchstaben nahe beisammen und dazwischen

ein einfaches Sternchen. Wer die nöthige Uebung hat, kann ohne Hülfe eines Haploskops seine Blicklinien auf die beiden Sternchen einstellen.

Wenn also auf correspondirenden Netzhauttheilen beiderseits ein Grund von derselben Farbe, auf der einen aber zugleich eine gut vom Grunde abstechende, mit nicht allzu breiten Strichen ausgeführte Figur irgend welcher Art sich abbildet, so sehen wir im Allgemeinen diese Figur ebenso deutlich, als wenn sie sich zugleich auf der andern Netzhaut in correspondirender Weise abbildete. Die dem Netzhautbilde der Figur correspondirenden Netzhautstellen des andern Auges lösen dabei keine deutlich wahrnehmbare Empfindung aus; vielmehr wird die ihnen entsprechende Empfindung, wie man zu sagen pflegt, unterdrückt. Hierauf beruht die Möglichkeit, die Correspondenz der Netzhäute nach der Methode der gegenseitigen Substitution derselben zu untersuchen.

Liegen auf der einen Scheibe des Haploskops weisse Striche oder Flecke auf schwarzem Grunde, während die andere Scheibe gleichmässig weiss ist, wie es die beiden äusseren Felder der Fig. 13



Fig. 13.

darstellen, so erscheint der Grund des Sehfeldes in einem schwankenden und meist glänzenden Grau, welches bald mehr ins Schwarze bald mehr ins Weisse übergeht, und auf diesem Grunde liegen dauernd weisse Figuren, jede rings umgeben von einem dauernd schwarzen Saume, welcher sich in das jeweilige Grau des Grundes abstuft, wie es das Mittelfeld der Fig. 13 darstellt.

Sind die linkseitigen Figuren farbig auf andersfarbigem Grunde, und hat die rechte Scheibe die Farbe der linkseitigen Figuren, so erscheinen diese dauernd in ihrer Farbe umgeben von einem Saume von der Farbe des linkseitigen Grundes, der übrige Grund aber in einer schwankenden Färbung; bald tritt hier die Farbe der einen, bald die der anderen Scheibe deutlicher hervor, bald zeigt sich eine Mischfarbe. Beide Farben liegen gleichsam mit einander im Kampfe. Die einseitig gesehenen Figuren aber bleiben stets sichtbar und um

sie herum wenigstens ein Saum ihres Grundes, welcher in keinen Wettstreit mit der Farbe der andern Seite eintritt, sondern dieselbe dauernd unterdrückt.

Färben wir die linke Hälfte der linken Scheibe des Haploskops schwarz, die rechte weiss, die obere Hälfte der rechten Scheibe schwarz und die untere weiss, wie es die beiden äussern Felder der Fig. 14 zeigen, so dass ein scharfer Contur beide Hälften trennt, so

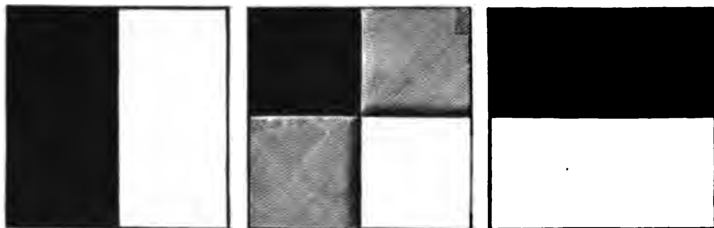


Fig. 14.

erscheint uns, wenn jede Gesichtslinie auf den Mittelpunkt der bezüglichen Scheibe gerichtet ist, und wir passend accommodirt sind, ein Sehfeld, welches im linken oberen Quadranten dauernd schwarz, im rechtern untern dauernd weiss ist. Die beiden andern Quadranten erscheinen, abgesehen von der unmittelbaren Nachbarschaft der Conturen, im Allgemeinen glänzend grau, bald dunkler, bald heller. An der Kreuzungsstelle des verticalen und horizontalen Conturs sehen wir bald nur den verticalen Contur, während der horizontale unterbrochen ist, bald den horizontalen, während der verticale unterbrochen ist. Der obern Hälfte des verticalen Conturs liegt nach rechts ein weisser, seiner untern nach links ein schwarzer Saum an, der allmählich in das Grau des bezüglichen Quadranten übergeht. Ebenso zeigt die linke Hälfte der horizontalen Grenzlinie nach unten einen dauernd weissen, die rechte Hälfte nach oben einen dauernd schwarzen Saum. Beide Conturen liegen an der Kreuzungsstelle gleichsam mit einander im Kampfe, bald siegt der eine mit dem ihm unmittelbar anliegenden Theile seines Grundes und durchbricht so den andern, bald ist das Umgekehrte der Fall. Dabei kämpfen auch in den beiden oben als grau bezeichneten Quadranten das Schwarz und Weiss mit einander, und geben bald eine hellere bald eine dunklere und meist glänzende Mischung. Das Mittelfeld der Fig. 14 zeigt eine bestimmte Phase dieses Wettstreites.

Ziehen wir durch die Mitte der linken weissen Scheibe des Haploskops einen mässig breiten schwarzen Verticalstrich, durch die Mitte der rechten ebenfalls weissen Scheibe einen Horizontalstrich,

und markiren den Mittelpunkt jeder Scheibe durch ein kleines weisses Kreuzchen, um der Gesichtslinie einen Haltpunkt zu geben, so erscheint uns im Sehfelde ein annähernd rechtwinkliges Kreuz, etwa wie *a, b, c* der Fig. 15. Die Mitte des Kreuzes, wo beide Schenkel sich decken,

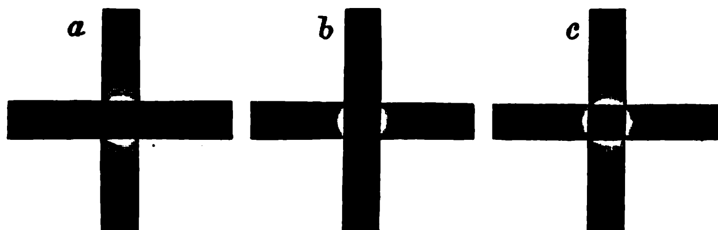


Fig. 15.

erscheint immer schwarz und hängt bald nur mit dem übrigen Schwarz des horizontalen Schenkels wie in *a*, bald nur mit dem des verticalen Schenkels, wie in *b*, bald mit keinem von beiden zusammen, wie in *c*. Die Unterbrechung des Zusammenhanges kommt dadurch zu Stande, dass an der Kreuzungsstelle am bezüglichen Contur des Schwarzen etwas Weiss vom Grunde gleichsam haften bleibt, welches in unmittelbarer Nähe des Conturs am hellsten ist und sich in das Schwarze des unterbrochenen Schenkels abschattirt. Bald erscheint der eine Strich unterbrochen, bald der andere, bald beide, so dass beide Schenkel an der Kreuzungsstelle gleichsam im Wettstreite mit einander sind; nie sehen wir ein in der Mitte zusammenhängendes Kreuz, wie es erscheinen würde, wenn beide Striche sich auf derselben Netzhaut abbildeten.

Liegt auf der linken Scheibe ein System paralleler Linien, auf der rechten ein System ebenfalls paralleler, aber anders gerichteter Linien, wie auf den beiden äussern Feldern der Fig. 16, so sieht man

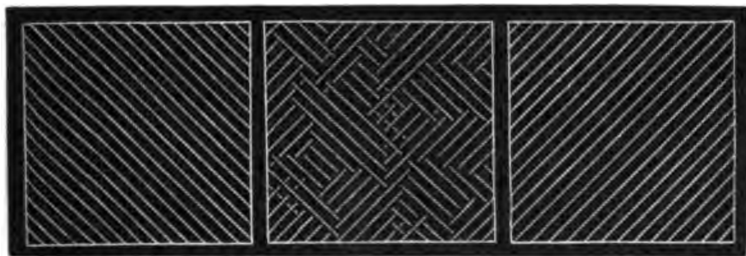


Fig. 16.

im Sehfelde allenthalben die Linien des einen Systems die des andern durchbrechen, wie es das Mittelfeld der Figur annähernd dar-

stellt. An der einen Stelle ist das eine System, an der andern das andere durchbrochen; an einer und derselben Stelle tritt bald das eine deutlich hervor, bald das andere, kurz es ist ein fortwährender unruhiger Wechsel wahrzunehmen, wenn nicht die Aufmerksamkeit ganz besonders auf das eine System gerichtet ist und demselben an der eben beachteten Stelle zum Siege im Wettstreit verhilft.

Allgemein können wir sagen, dass erstens, wenn auf der einen Netzhaut das scharfe Bild eines Conturs, d. i. eine scharfe Grenze zwischen zwei verschiedenfarbigen Flächen liegt, während über die correspondirende Stelle der andern Netzhaut das Bild eines gleichartigen Grundes gebreitet ist, der Contur im gemeinsamen Sehfeld sichtbar wird, weil die dem Contur anliegenden Theile des Grundes über die entsprechenden Theile des andern Netzhautbildes den Sieg davon tragen, und die denselben entsprechende Empfindung gleichsam unterdrücken. Jeder Contur des einen Netzhautbildes verhilft dem ihm anliegenden Theile des Grundes zum dauernden Siege über den andersfarbigen Grund des andern Netzhautbildes. Man kann dies die Prävalenz der Conturen nennen. Zweitens ist zu sagen, dass wenn in beiden Netzhautbildern Conturen so verlaufen, dass sie nur mit je einem Punkt auf Deckstellen liegen, sie sich an der diesem Deckstellenpaar entsprechenden Stelle des Sehfeldes zwar zu durchkreuzen scheinen, aber immer derart, dass bald der eine Contur mittels der ihn umsäumenden Theile seines Grundes den andern unterbricht, bald wieder dieser den ersten. Man nennt dies den Wettstreit (Wetteifern, Panum) der Conturen.

Die Prävalenz und der Wettstreit der Conturen wurde zuerst von H. Meyer[1] und nachher ausführlicher von Panum[2] erörtert, deren Abhandlungen auch obige Figuren im Wesentlichen entlehnt sind. Vergl. ausserdem Welcker[3], Fechner[4] und Helmholtz.[5]

‚Die Bedeutung der Prävalenz der Conturen und ihres Wettstreites liegt darin[6], dass durch sie „die Fusion beider Netzhautbilder verhindert, und jedem derselben eine gewisse Selbständigkeit gewahrt wird". Wenn wir mit einem Auge durch ein unbelegtes verticales Spiegelglas sehen, welches unter 45° zur Gesichtslinie geneigt ist, so erscheinen uns die direct und die durch Spiegelung ge-

1 H. Meyer, Arch. f. Ophthalmologie II. 2. S. 77.
2 Panum, Physiol. Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen 1858.
3 Welcker, Ueber Irradiation 1852.
4 Fechner, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. VII. S. 378.
5 Helmholtz, Physiol. Optik S. 766.
6 Hering, Beiträge zur Physiologie V. S. 313.

sehenen Dinge in demselben Raume durch einander geschoben. Wir wissen dann zwar die Conturen der direct gesehenen von denen der gespiegelten Dinge meist zu sondern, aber dieselben Mischfarben füllen die Conturen beider aus, und mancherlei Täuschungen können dabei vorkommen. Dem gänzlich Unerfahrenen müssten nothwendig beide Bilder in eines zusammenfliessen. Setzen wir dagegen das Spiegelbild durch kleine Drehungen des Spiegelglases in Bewegung, so wird die Sonderung beider Bilder sehr erleichtert, weil dann das, was sich gemeinsam verschiebt, als zusammengehörig erkannt wird.

Bestände keine Prävalenz der Conturen und kein Wettstreit weder des Grundes noch der Conturen, und gäben verschieden gereizte Deckstellenpaare eine stetige, aus den beiderseitigen Erregungen resultirende Empfindung in derselben Weise, wie sie es bei beiderseits gleicher Reizung thun, so würden verschieden gestaltete und gefärbte Bilder beider Netzhäute bei ruhendem Blicke in ganz derselben Weise in Eines zusammenfliessen, wie bei festgehaltenem Spiegel die Bilder der direct gesehenen und der gespiegelten Dinge. Durch Schwankungen der Convergenz der Gesichtslinien wird die Sonderung der beiderseitigen Bilder noch weiter unterstützt in ähnlicher Weise wie bei dem obigen Versuche durch die Bewegung des Spiegels.

Panum[1] meint, „dass die Conturen die Retina besonders stark reizen, und dass die Nervenerregung, die durch sie hervorgebracht wird, eine andere und weit kräftiger ist, als diejenige, welche durch eine gleichmässig erleuchtete Fläche gesetzt wird.“ H. Meyer und Helmholtz dagegen geben eine psychologische Erklärung und meinen, dass die Conturen prävaliren, weil sich ihnen die Aufmerksamkeit zuwendet, und dass im Wettstreit der Conturen immer derjenige Contur siege, welcher eben Gegenstand der Aufmerksamkeit ist. In ausführlicher Weise hat besonders Fechner[2] den Einfluss der Aufmerksamkeit auf diese Erscheinungen auseinandergesetzt, ohne übrigens dieselben lediglich hieraus erklären zu wollen.

---

1 Panum, l. c. S. 47.
2 Fechner, l. c. S. 392.

FÜNFTES CAPITEL.

Das Gesetz der identischen Sehrichtungen.

Man stelle sich in etwa ½ Mtr. Entfernung vor ein Fenster, das eine freie Aussicht gewährt, fixire den Kopf mit einem Kopfhalter, wie ihn die Photographen benützen, schliesse zunächst das rechte Auge und suche mit dem linken einen etwas nach rechts gelegenen fernen Gegenstand auf, der sich gut von seiner Umgebung abhebt, z. B. einen einzelnen Baum. Während man ihn mit dem linken Auge fixirt, mache man auf die Fensterscheibe einen schwarzen Punkt derart, dass er dem linken Auge die Mitte des Baumes verdeckt. Nun schliesse man das linke und öffne das rechte Auge, richte letzteres auf den schwarzen Punkt der Fensterscheibe und beachte, welches Object des Aussenraumes er jetzt dem rechten Auge theilweise verdeckt. Dieses Object, es sei z. B. eine Esse, merke man sich. Schliesslich fixire man den Punkt auf der Scheibe mit beiden Augen und man wird gerade hinter demselben, von ihm theilweise gedeckt, zugleich den fernen Baum und die ferne Esse sehen, bald deutlicher den Baum, bald die Esse, bald beide, je nachdem im Wettstreite das Bild des einen oder des andern Auges siegt. Man sieht also den Punkt auf der Scheibe, den Baum und die Esse in derselben Richtung. Befindet sich der Punkt in der Medianebene des Kopfes und convergiren daher die Augen symmetrisch, so scheinen Punkt, Baum und Esse in der Medianebene zu liegen, obwohl letztere beide sich in Wirklichkeit ganz wo anders befinden.

Fig. 17. versinnlicht die Einrichtung des Versuches; *ff* ist die Fensterscheibe, *p* der fixirte schwarze Punkt; auf der linken Gesichtslinie *lb* liegt der ferne Baum, auf der rechten *re* die ferne Esse. Die Bilder von *b* und *e* fallen also ebenso wie das Bild von *p* auf die Stelle des directen Sehens und daher auf correspondirende Theile beider Netzhäute; die ganz gleichen Bilder von *p* liegen genau correspondirend, die ganz verschiedenen des Baumes und der Esse befinden sich nur auf correspondirenden Netzhautgegenden.

Der Versuch zeigt, dass Objecte, welche auf einer der beiden gekreuzten Gesichtslinien und also in ganz verschiedener Richtung vom Kopfe liegen, gleichwohl in einer und derselben Richtung erscheinen, und sich, wenn sie zugleich in verschiedenen Entfernungen

gesehen werden, zwar nicht dem Orte nach, wohl aber wenigstens der Richtung nach decken; ferner, dass sie, wenn bei Primärstellung des Kopfes die Gesichtslinien horizontal symmetrisch gekreuzt sind,

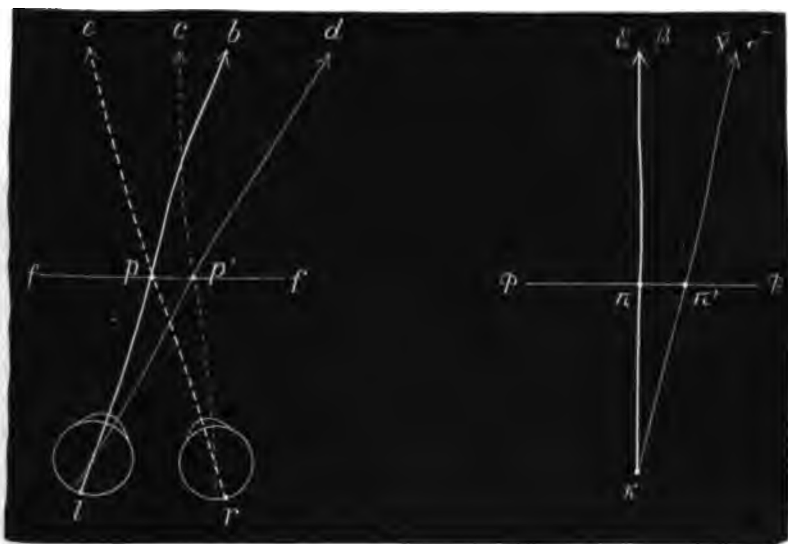


Fig. 17.

sämmtlich auf der scheinbaren **Medianlinie** als der Durchschnittslinie zwischen der scheinbaren Medianebene und der scheinbaren primären Blickebene zu liegen scheinen. Die Linie, in welcher Alles auf der Stelle des directen Sehens Abgebildete erscheint, heisst die gemeinsame **Sehrichtungslinie** oder kurz **Sehrichtung der Netzhautcentren** oder die **Hauptsehrichtung**.

Liegt mehr nach rechts vom fixirten Punkt p ein zweiter schwarzer Punkt p' auf der Fensterscheibe, so befindet sich derselbe sehr angenähert im Längshoropter und bildet sich ebenfalls nahezu auf correspondirenden Stellen ab. Die fernen Aussenobjecte (c und d in Fig. 17), welche auf den beiden zum Punkte p' gehörigen Richtungslinien liegen, erscheinen uns ebenfalls in derselben Richtung, wie der Punkt p' nämlich hinter diesem in der Ferne zu liegen. Den beiden correspondirenden Punkten, welche das Bild von p' empfangen, entspricht also abermals eine und dieselbe Sehrichtungslinie oder Sehrichtung, welche nach rechts von der scheinbaren Medianebene abweicht. Die Anordnung der Sehdinge ist daher im Sehraum etwa so, wie es Fig. 17 rechterseits darstellt. Alles erscheint in der scheinbaren Blickebene; dem wirklichen Punkte p entspricht der Sehpunkt

π, gerade dahinter auf der scheinbaren Medianlinie liegen in der Ferne die den wirklichen Dingen *e* und *b* entsprechenden Sehdinge ε und β. Der wirkliche Punkt p' erscheint als Punkt π' im Sehraume, dahinter auf einer nach rechts von der scheinbaren Medianlinie abweichenden Sehrichtungslinie die den wirklichen Dingen *c* und *d* entsprechenden Sehdinge γ und δ.

Man stelle sich wieder wie vorhin vor das Fenster, fixire einen entfernten, in der Medianebene gelegenen Gegenstand (*a* Fig. 18),

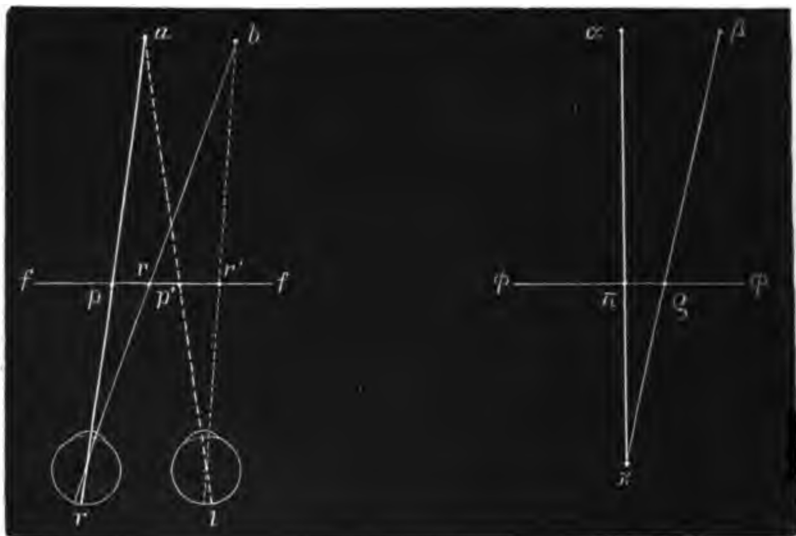


Fig. 18.

schliesse das linke Auge und bringe auf der Glasscheibe einen rothen Punkt (p) so an, dass er dem linken Auge eine Stelle des fixirten fernen Objectes verdeckt und also mit ihm in gleicher Richtung erscheint. Hierauf schliesse man das linke Auge, öffne das rechte und markire wieder, aber mit blauer Farbe denjenigen Punkt (p') auf der Scheibe, welcher jetzt in derselben Richtung wie das fixirte Object (*a*) erscheint. Fixirt man nun letzteres binocular, so sieht man das dem Objecte *a* entsprechende Sehding α wieder in der scheinbaren Medianebene und gerade davor auf der Scheibe einen Punkt π, welcher bald roth, bald blau aussieht, weil er durch die scheinbare Deckung der wirklichen Punkte p und p' entstanden ist.

Mehr rechts vom fernen fixirten Objecte *a* liege ein anderes ungefähr gleich fernes Object *b*. Während man mit dem linken Auge allein fixirt, bringe man wieder auf die Scheibe einen rothen Punkt

(*r*) da an, wo die Scheibe von der Richtungslinie des Objectes *b* geschnitten wird; ebenso, während *a* nun vom rechten Auge fixirt wird, einen blauen Punkt *r'* an der Stelle, wo jetzt die Richtungslinie von *b* die Scheibe schneidet. Endlich fixire man *a* binokular und man wird nun nicht nur in der Richtung von *a* sondern auch in der Richtung von *b* einen Punkt ϱ auf der Scheibe sehen, welcher bald roth, bald blau aussieht und also durch scheinbare Verschmelzung der wirklichen Punkte *r* und *r'* entstanden ist. Die Anordnung der Sehdinge im Sehraum ist jetzt etwa so, wie es Fig. 18 rechterseits darstellt. Wieder liegt das auf beiden Netzhautcentren Abgebildete nämlich *p* und *a* auf der scheinbaren Medianlinie des Sehraums in π und α, und ebenso erscheinen das Object *b*, die Punkte *r* und *r'* auf einer und derselben nach rechts von der scheinbaren Medianlinie abweichenden Sehrichtungslinie in β und ϱ.

Für den letztbeschriebenen Versuch kann man, während man immer das in der Medianebene liegende Object *a* fixirt, statt des indirect gesehenen Objectes *b* einen beliebigen anderen indirect gesehenen gleich fernen Gegenstand benützen und so für jedes beliebige Deckstellenpaar beweisen, dass die Sehdinge, welche den auf diesen Deckstellen gelegenen Bildern entsprechen und in verschiedener Entfernung gesehen werden, auf einer und derselben Sehrichtungslinie im Sehraume erscheinen.

Je zwei bestimmten correspondirenden Richtungslinien oder Visirlinien entspricht also im Sehraume eine einfache Sehrichtungslinie derart, dass auf letzterer alles das erscheint, was auf den ersteren wirklich liegt.

Was immer sich bei einer gegebenen Augenstellung auf den mittlen Querschnitten abbildet, erscheint in einer Ebene, welche den ganzen Sehraum in eine obere und eine untere Hälfte theilt und die mittle Querebene des Sehraumes heissen soll. Diese Ebene fällt bei horizontal symmetrischer Convergenz der Augen und Primärstellung des Kopfes mit der scheinbaren horizontalen Hauptebene zusammen. Was auf den beiden mittlen Längsschnitten abgebildet ist, erscheint in einer Ebene, welche den ganzen Sehraum in eine rechte und linke Hälfte theilt und die mittle Längsebene des Sehraumes heissen soll. Diese Ebene fällt bei Primärstellung des Kopfes und symmetrischer Stellung der Gesichtslinien mit der scheinbaren Medianebene zusammen. Auf der Durchschnittslinie der mittlen Längsebene und der mittlen Querebene des Sehraumes erscheint alles, was auf den Netzhautmitten abgebildet ist.

Da wir die Lage der Dinge auf unsern Körper und insbeson-

dere auf unsern Kopf beziehen, und dieser daher den Ausgangspunkt der Richtungen bildet, in welchen uns die Dinge erscheinen, so müssen wir uns sämmtliche Sehrichtungslinien, deren jede einem Deckstellenpaare entspricht, vom Kopfe aus divergirend denken, genauer gesagt von der Stelle aus, an welcher wir uns, bezogen auf die Sehdinge, unsern Kopf vorstellen. Dieser bildet also das Centrum der Sehrichtungen oder Sehrichtungslinien. Die Lage einer bestimmten Sehrichtungslinie im Sehraume ist bestimmt durch den scheinbaren Winkel, welchen sie einerseits mit der mittlen Querebene, anderseits mit der mittlen Längsebene einschliesst, und die Grösse dieses Winkels wächst mit dem Abstande des, dieser Sehrichtungslinie entsprechenden Deckstellenpaares vom mittlen Querschnitt beziehungsweise mittlen Längsschnitt der Netzhaut.

Sehen wir ab von der oben beschriebenen kleinen Incongruenz der Netzhäute, so können wir uns das Richtungslinienbüschel des rechten Auges mit dem des linken so zusammengelegt denken, dass je zwei correspondirende Richtungslinien zusammenfallen. Das Centrum des so entstandenen einfachen Linienbüschels denken wir uns in die Mitte zwischen beide Augen gelegt, so dass alle den mittlen Längsschnitten der Netzhäute zugehörigen Linien des Büschels in der Medianebene des Kopfes liegen. Dann würde dieses einfache Linienbüschel die Gesammtheit aller Sehrichtungslinien ungefähr darstellen. Handelt es sich nur um das Sehen ferner Objecte, so kann man sich das Centrum der Sehrichtungen besser in der Längsaxe des Kopfes auf gleicher Höhe mit den Augen gelegen denken.

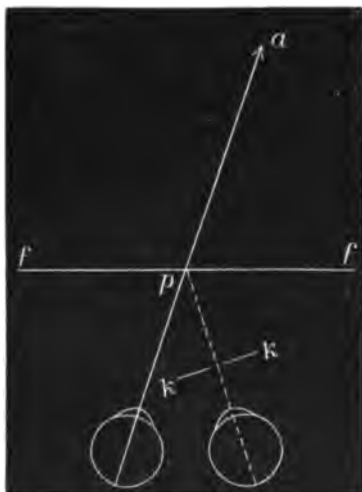


Fig. 19.

Auch beim einäugigen Sehen bleiben die Sehrichtungen in der Regel dieselben. Man fixire z. B. einen schwarzen Punkt *p* (Fig. 19) auf der Fensterscheibe *ff*, während man vor das eine Auge und einige Zoll von ihm entfernt ein grosses Kartenblatt *kk* mit einem äusserst feinen Loche hält, so dass man das Loch als einen kleinen Zerstreuungskreis und in der Mitte des letzteren den Punkt *p*, wenn auch etwas undeutlich sieht. Auf der Gesichtslinie des linken Auges befinde sich in der Ferne das Object *a*.

Obwohl man nun weiss, dass dasselbe nur mit dem linken Auge gesehen wird und also nach rechts von der Medianebene des Kopfes liegen muss, so sieht man es doch gerade aus hinter dem Punkte *p* in der scheinbaren Medianebene. Ebenso erscheinen dabei alle andern durch das Fenster sichtbaren Dinge auf der ihnen zukommenden Sehrichtungslinie und daher sämmtlich an einem falschen Orte. Das rechte Auge sieht hierbei gar nichts als den Punkt *p* und den kleinen Zerstreuungskreis des Loches, welcher sich wie ein Nebel über das Wenige legt, was das rechte Auge sonst noch durch das Loch hindurch sehen könnte, so dass auch dies Wenige kaum erkennbar und nicht störend wird. Verdeckt man das rechte Auge vollständig, so ändert sich zunächst nichts. Nur wenn man über die wirkliche Lage der Dinge reflectirt und das verdeckte Auge seine Stellung ändert, kann eine Aenderung in der scheinbaren Richtung der Dinge eintreten.

Anders verhält sich die Lage des Sehrichtungsbüschels zum Kopfe bei denen, welche einäugig sind oder sich, wie Mikroskopiker, gewöhnt haben, häufig nur das eine Auge zu benutzen, oder bei Menschen mit habitueller falscher Kopfhaltung. Wer überhaupt einäugig ist oder oft einäugig sieht, ist nicht den groben Täuschungen ausgesetzt, wie der ganz normal Doppeläugige. Bei alledem aber wird an dem wesentlichen Inhalte des Gesetzes der identischen Sehrichtungen nichts geändert: immer erscheint, sobald beide Augen sehen, das correspondirend Abgebildete auf einer und derselben Sehrichtungslinie; nur die Lage des ganzen Sehrichtungsbüschels zu den scheinbaren Hauptebenen des Raumes kann eine andere werden.

J. von Kries [1], bei welchem unter gewissen Bedingungen unwillkürliches Divergenzschielen eintritt, hat an sich selbst beobachtet, dass bei Divergenzstellungen seiner Augen zwar die auf correspondirenden Punkten sich abbildenden Gegenstände stets zusammenzufallen scheinen, dass aber in ganz ähnlicher Weise mit dem hierbei auftretenden Wettstreite der Sehfelder auch ein Wettstreit der Sehrichtungen eintritt. v. Kries, obwohl er binocular fixiren kann, pflegt für die Nähe vorzugsweise das linke, für die Ferne vorzugsweise das rechte Auge zu benutzen und das andere abweichen zu lassen. Infolge dessen hat er gelernt, beim Gebrauche des linken Auges die Dinge so zu sehen, wie wenn das Centrum der Sehrichtungslinien weiter nach links, beim Gebrauche des rechten Auges so, wie wenn es weiter nach rechts im Kopfe läge, als beim normalen doppeläugigen Sehen der Fall ist. Er ist gleichsam ein doppelter Einäugiger, und unter Umständen gerathen seine beiden Arten der Localisirung in Conflict, ohne dass das Gesetz der identischen Sehrichtungen dadurch alterirt wird.

---

1 v. Kries, Arch. f. Ophthalmologie XXIV. 4. Abth. S. 117.

Die Anordnung der Sehrichtungen im Sehraume wurde zuerst von Hering[1] ausführlich dargelegt, ungefähr gleichzeitig und unabhängig davon auch von Towne[2] gefunden, aber erst später öffentlich mitgetheilt. Die Grundzüge des Gesetzes der Sehrichtungen finden sich schon bei Joh. Müller[3] u. A. Prévost.[4]

Denkt man sich statt zweier Augen ein in der Mitte zwischen den beiden wirklichen Augen gelegenes Auge, und die Netzhautbilder beider wirklichen Augen auf die Netzhaut dieses Mittelauges so übertragen, dass sie in Beziehung zum verticalen und horizontalen Mittelschnitt dieser Netzhaut ebenso angeordnet sind, wie auf jeder Netzhaut in Beziehung zum mittlen Längsschnitt und mittlen Querschnitt, so würden die Richtungslinien dieses imaginären Einauges annähernd die Sehrichtungen sein. Dieses imaginäre Einauge hat man auch das Cyclopenauge genannt.

SECHSTES CAPITEL.

Das Sehen mit disparaten Stellen.

Gleichviel, ob die Ergebnisse der bisher vorliegenden Untersuchungen über die Anordnung der correspondirenden Stellen der Wahrheit mehr oder weniger nahe kommen, immer wird sich ergeben müssen, dass insbesondere bei Convergenz der Gesichtslinien nur verhältnissmässig wenige Punkte des Aussenraumes in der Lage sind, sich auf Deckstellen abzubilden. Es fragt sich nun, wie die räumlichen Eigenschaften der von einem Netzhautstellenpaar ausgelösten Empfindungen sich verhalten, je nachdem dieses Stellenpaar ein correspondirendes oder disparates ist.

Zur Untersuchung dieser Frage bieten sich zwei verschiedene Wege. Man kann erstens, während ein bestimmter Aussenpunkt fixirt wird, andere Punkte oder ausgedehnte Objecte von einfacher Form in verschiedene Lagen bringen, so dass sie sich bald auf correspondirenden, bald auf disparaten Stellen abbilden müssen, während man dabei ihre scheinbare Lage mit der scheinbaren Lage des fixirten

---

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. 1861 und II. § 63—69, woselbst das Wesen der Sehrichtungen ausführlicher erörtert und insbesondere gezeigt wird, dass die Lage des hinzugedachten Ausgangspunktes der Sehrichtungslinien eine variable ist und dass man sich denselben sogar manchmal hinter dem Kopfe zu denken hat.

2 Towne, nach einer brieflichen Mittheilung an Helmholtz (Physiol. Optik S. 745).

3 Joh. Müller, Handb. d. Physiologie II. S. 376. 1840.

4 Prévost, Essai sur la théorie de la vision binocul. Genève 1843.

Punktes vergleicht. Oder man kann die Untersuchung nach der haploskopischen Methode anstellen.

Denkt man sich, während ein bestimmter Punkt eines Aussendinges fixirt wird, durch jede Gesichtslinie eine zu derselben rechtwinklige Ebene, beiderseits in derselben Entfernung vom Auge, gelegt und alle übrigen Punkte des Dinges mittels der Richtungslinien auf diese Ebene projicirt, so würden diese Projectionen beiden Augen in räumlicher Beziehung dasselbe Netzhautbild geben, wie das Object selbst. Brächte man die beiden projectivischen Zeichnungen auf die beiden Scheiben des oben beschriebenen Haploskops in derselben Entfernung von den Augen, welche zuvor die Projectionsebenen hatten, und stellte jede Gesichtslinie auf den Punkt ein, welcher dem zuvor fixirten Aussenpunkt entspricht, so würden beide Netzhäute dasselbe Bild empfangen, wie beim Sehen des wirklichen Objectes, und die Bilder würden auf beiden Netzhäuten auch wieder dieselbe Lage haben, wenn beide Zeichnungen so gestellt wären, dass z. B. auf den mittlen Querschnitten der Netzhäute wieder die Bilder derselben Punkte lägen wie zuvor.

Zwischen dem Sehen des wirklichen Dinges und dem haploskopischen Sehen seiner beiden Projectionen bliebe dann nur noch der wesentliche Unterschied, dass bei ersterem die Gesichtslinien convergent, bei letzterem parallel sind, was zugleich einen verschiedenen Accommodationszustand mit sich bringt.

Aber auch dieser Unterschied lässt sich durch eine Modification des Haploskopes beseitigen, wie sie Fig. 20 schematisch darstellt.[1] Vor jeder der beiden horizontalen und zunächst parallel angenommenen Gesichtslinien befindet sich ein um 45° zu ihr geneigter kleiner Spiegel. Die beiden projectivischen Zeichnungen liegen je auf einer verticalen Ebene *a b c*, *a' b' c'* welche ebenfalls unter 45° zur Ebene des zugehörigen Spiegels geneigt ist und demselben auf einem Schlitten beliebig genähert oder wieder von ihm entfernt werden kann. Spiegel und Bildebene einer Seite sind auf je einem Gestell befestigt, welches um eine verticale Axe drehbar ist, deren gedachte Verlängerung durch den Drehpunkt des bezüglichen Auges geht. Bei der Drehung des Gestelles ändert sich also weder die Lage der Zeichnung zum Spiegel, noch die Lage des letzteren zum Drehpunkt des Auges, wenn der Kopf durch einen Halter fixirt ist. Sind *b* und *b'*

1 Dieser Apparat unterscheidet sich von dem beweglichen Spiegelstereoskope Wheatstone's nur dadurch, dass bei letzterem beide Spiegel sammt den zugehörigen Bildebenen um eine gemeinschaftliche zwischen den beiden Spiegeln gelegene verticale Axe drehbar sind, während im ersteren jeder Spiegel seine besondere, zugleich durch den Drehpunkt des entsprechenden Auges gehende Axe hat.

die dem Fixationspunkte entsprechenden Punkte der beiden Zeichnungen, so müssen die Gesichtslinien, wenn der Apparat die durch Fig. 20 versinnlichte Stellung hat, parallel stehen, um auf die Spiegelbilder β, β' dieser Punkte zu treffen; hat aber der Apparat eine Stellung, wie sie Fig. 21 dargestellt, so müssen die Gesichtslinien zu demselben Zwecke convergiren. Dabei ändert sich also zwar die Augenstellung, nicht aber das Bild auf der Netzhaut, sofern die mittlen Längsschnitte und Querschnitte wieder dieselbe Lage zur Blickebene haben und nicht etwa mit der veränderten Accommodation der Augen zugleich die Anordnung der correspondirenden Richtungslinien sich geändert hat.

Fig. 20.

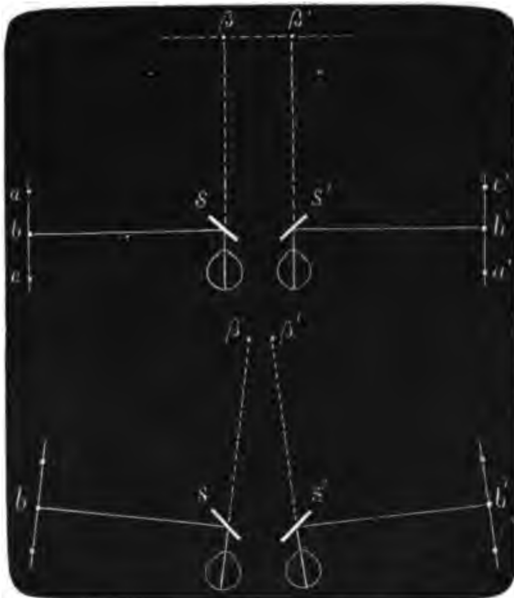


Fig. 21.

Gleichviel ob man die Objecte selbst oder deren Doppelprojectionen zur Untersuchung benutzt, immer muss man solche Objecte wählen, für deren scheinbare Anordnung im Raume keine anderen Umstände, als allein die Stellung des Kopfes und der Augen und die Lage der Bilder auf der Netzhaut bestimmend werden können. Dies ist bei den folgenden Versuchen möglichst angestrebt.

Man hänge eine Anzahl durch kleine Gewichte belasteter, etwa 2 Ctm. von einander abstehender feiner Fäden oder Drähte von verschiedener Stärke vor einem entfernten gleichfarbigen und ebenen Hintergrunde so auf, dass sie sämmtlich in einer verticalen Ebene liegen.[1] Stellt man sich in einem Abstande von etwa 1 Mtr. vor den Fäden auf, so dass alle Fäden von der Frontalebene gleichweit abstehen, hält vor das Gesicht eine kurze Röhre, welche beiden Augen das obere und untere Ende der Fäden verdeckt, und fixirt mit

1 Lässt man die Gewichte in Wasser tauchen, so wird das lästige Pendeln der Fäden bald gedämpft.

horizontaler Blickebene fest den in der Medianebene gelegenen Faden, so erscheinen sämmtliche Fäden in einer Ebene oder in einer Fläche, welche in querer Richtung eine äusserst schwache Krümmung hat, die zunächst vernachlässigt werden kann (s. u.). Die Fäden liegen hierbei ziemlich genau im Horopter der Längsschnitte, wenn man den Kopf so zur Blickebene neigt, dass die Längsschnitte beider Netzhäute senkreckt zur Blickebene stehen.[1] Diesenfalls ist der schematische Längshoropter ein verticaler Kreiscylinder, der durch den Blickpunkt und den mittlen Knotenpunkt beider Augen geht, und diesen Cylinder tangirt die Ebene der Fäden längs des fixirten Fadens. Da der Cylinder etwa einen halben Meter im Durchmesser hat, so ist seine Krümmung schwach, und die dem fixirten Faden näheren Fäden, auf welche es besonders ankommt, liegen nahezu im Cylinder selbst. Lässt man jetzt, während man die Augen schliesst, von einem Gehilfen einen der Fäden aus der Ebene der andern etwas verschieben und blickt wieder auf den Mittelfaden, so erkennt man selbst bei geringfügiger Verschiebung augenblicklich, welcher Faden und in welchem Sinne er verrückt ist. Je näher der bezügliche Faden dem Blickpunkte liegt, eine desto geringere Verschiebung desselben nach vorn oder hinten genügt, um ihn sofort auch näher oder ferner erscheinen zu lassen als seine Nachbarn. Sind die Fäden von vornherein nicht genau in einer Ebene, so sieht man sofort, welche Fäden näher und welche ferner liegen, und stellt man sich die Aufgabe, die Fäden bei fester Fixirung des Mittelfadens wieder in eine Ebene zu bringen, was man mit Hülfe einer passenden Vorrichtung selbst besorgen oder von einen Gehilfen besorgen lassen kann, so bringt man die Fäden wirklich in eine Ebene oder wenigstens in eine Fläche, welche eine ganz schwache regelmässige Krümmung in querer Richtung hat (s. u.).

Fixirt man den Mittelfaden nur mit einem Auge, so ist man über die Anordnung der Fäden sehr unsicher und unterliegt mannichfachen Täuschungen. Versucht man dabei die anfangs nicht in einer Ebene befindlichen Fäden in eine solche zu bringen, so begeht man meist grobe und ganz regellose Fehler: Beweis, dass die Localisirung nur bei binocularem Sehen eine so sichere ist.[2]

---

1 Wie dies zu controliren ist, wird im Abschnitte über die Augenbewegungen zu besprechen sein.

2 Deshalb eignen sich diese Versuche, wenn man sie z. B. mit steifen Drähten verschiedener Dicke anstellt, welche auf kleinen Stativen befestigt sind und leicht verschoben werden können, zur Entscheidung der Frage, ob jemand binocular sieht oder nicht. Verfällt er dabei in grobe Täuschungen, so sieht er nicht binocular oder ist wenigstens auf einem Auge amblyopisch.

Ist der bei obigem Versuche verschobene Faden nach hinten, d. h. vom Gesichte weggerückt worden, dabei aber vertical geblieben, so befinden sich seine Bilder jetzt nicht mehr auf correspondirenden, sondern auf disparaten Längsschnitten. Das Bild auf der rechten Netzhaut liegt im Vergleiche zum Bilde im linken Auge zu weit nach links, als dass es correspondirend sein könnte, wie Fig. 22

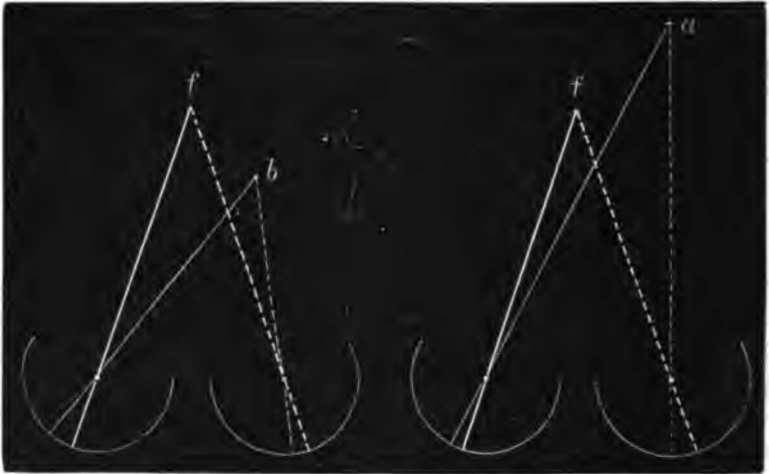


Fig. 22.

zeigt, in welcher *f* den Durchschnitt des fixirten, *a* des verschobenen Fadens bedeutet. Eine solche Art der queren Disparation zweier Netzhäute heisst eine ungekreuzte oder gleichseitige Disparation. Der Grund zu dieser Bezeichnung wird sogleich zu besprechen sein.

Ist der Faden (*b* Fig. 22) aus der Fläche der übrigen und also aus dem Längshoropter nach dem Gesichte hin verschoben worden und dabei vertical geblieben, so liegt jetzt sein Bild auf der rechten Netzhaut im Vergleiche zum linken Netzhautbilde zu weit nach rechts wie es Fig. 22 versinnlicht. Eine solche Art der queren Disparation zweier Netzhautbilder heisst eine gekreuzte oder ungleichseitige Disparation.

Jeder Faden, dessen Netzhautbilder eine ungekreuzte Disparation haben, erscheint also ferner, jeder Faden dessen Bilder gekreuzte Disparation haben, näher als die im Längshoropter selbst gelegenen und deshalb correspondirend abgebildeten Fäden, und zwar wächst, wie man sich leicht bei dem Versuche überzeugen kann, der scheinbare Abstand des Fadens von der scheinbaren Fläche der übrigen

mit der Grösse der queren Disparation ihrer Netzhautbilder und also mit ihrem wirklichen Abstande von der Fläche der übrigen Fäden.

Rückt man den bezüglichen Faden zu weit aus der Ebene der übrigen heraus, so dass die quere Disparation seiner Netzhautbilder ein gewisses Maass überschreitet, so wird er bei fester Fixirung des Mittelfadens, die bei allen diesen Versuchen vorausgesetzt wurde, nicht mehr einfach vor oder hinter der Fläche der übrigen gesehen, sondern doppelt als zwei nebeneinander liegende Fäden: statt eines wirklichen Dinges treten also zwei Sehdinge auf. Ein solches Doppelsehding, dem ein einfaches wirkliches Ding entspricht, heisst ein Doppelbild oder Doppeltrugbild. Jedes der beiden Trugbilder eines Doppelbildes wird auch als Halbbild (HELMHOLTZ) bezeichnet.

Erscheint ein Faden deshalb doppelt, weil er zu weit jenseits der Längshoropterfläche liegt, so verschwindet bei Schluss des rechten Auges das nach rechts liegende Trugbild oder Halbbild, bei Schluss des linken Auges das linke Trugbild, und das Doppelbild heisst deshalb ein gleichseitiges oder ungekreuztes; ist der Faden diesseits der Längshoropterfläche gelegen, so verschwindet bei Schluss des rechten Auges das linke, bei Schluss des linken das rechte Trugbild und das Doppelbild heisst ein ungleichseitiges oder gekreuztes. Deshalb wurde auch oben die entsprechende Art der Disparation der Netzhautbilder analog bezeichnet.

Es hängt von der Uebung im indirecten Sehen und im festen Fixiren ab, ob das Doppelsehen bei einem kleineren oder erst bei einem grösseren Werthe der queren Disparation zweier zusammengehöriger Netzhautbilder beginnt; je grösser diese Uebung ist, bei desto kleinerer Disparation zeigen sich schon die Doppelbilder. Diese Doppelbilder werden noch besonders zu erörtern sein; hier soll es sich nur um den scheinbaren Ort einfach erscheinender Objecte handeln.

Ein dem obigen ganz analoger Versuch lässt sich nach der haploskopischen Methode anstellen. Auf der linken Scheibe des Haploskops befindet sich die linke Hälfte der Fig. 23, auf der rechten die rechte Hälfte. Die Linien f und f' gehen jederseits durch den Fixationspunkt. Die Linienpaare $a\,a'$, $b\,b'$, $c\,c'$ und $d\,d'$ bilden sich dann jedes auf correspondirenden Längsschnitten ab, weil a von f ebensoweit absteht wie a' von f', b von f soweit wie b' von f' u. s. f. Nicht dasselbe gilt von den Linienpaaren $m\,m'$ und $n\,n'$. Das Bild von m liegt auf der linken Netzhaut dem mittlen Längsschnitte näher als das Bild von m' auf der rechten Netzhaut, im Vergleich mit letzterem also zuweit nach rechts und die beiden Bilder haben daher,

insofern man sie als die zusammengehörigen Bilder einer einfachen Aussenlinie betrachten kann, eine gekreuzte Disparation. Die Bilder von *n* und *n'* dagegen haben ungekreuzte Disparation. Die beiden



Fig. 23.

Liniensysteme stellen also die Projectionen von sieben verticalen Fäden dar, von welchen fünf, nämlich der mittle und jederseits die beiden äussersten in der Fläche des Längshoropters liegen, der dritte von links dagegen vor, der fünfte hinter dieser Ebene. Dem entsprechend ist nun auch das Anschauungsbild, welches die beiden Systeme bei haploskopischer Vereinigung erzeugen. Man sieht die erstgenannten fünf Fäden[1] in einer Ebene oder wenigstens in einer der Ebene sehr nahe kommenden, sehr schwach gekrümmten, nach dem Gesichte concaven Cylinderfläche (s. u.), den dritten vor, den fünften hinter derselben.

Auf die Anfertigung solcher Doppelzeichnungen wie Fig. 23 muss grosse Sorgfalt verwendet werden. Diejenigen Theile der beiden Zeichnungen, welche sich correspondirend abbilden sollen, müssen sich, wenn man die Linien über einander gelegt denkt, genau decken. Deshalb ist es am besten, diesen Theil der Zeichnungen auf mechanischem Wege zu vervielfältigen und das Uebrige hineinzuzeichnen.

Wenn eine Linie ohne sichtbares Ende sich auf correspondirenden Längsschnitten abbildet, weil sie im Längshoropter liegt, so bildet sich doch nicht auch ein einzelner Punkt der Linie auf Deckstellen ab, vielmehr haben die Netzhautbilder jedes einzelnen Punktes eine sogenannte verticale oder Längsdisparation mit Ausnahme des fixirten und derjenigen Punkte, welche im Punkthoropter liegen. Diese Disparation kommt aber hier nicht in Betracht, weil die Linienbilder im Ganzen auf Deckstellen liegen, obwohl sie sich nicht mit entsprechenden Punkten decken. Je zwei Deckpunktpaare empfangen also gleiche Bilder, und wenn dieselben auch von zwei ver-

---

1 Falls sie ganz genau gezeichnet sind, was in Fig. 23 nicht der Fall ist.

schiedenen Punkten der Aussenlinie herrühren, so ist doch das Doppelnetzhautbild, auf das es allein ankommt, genau ebenso beschaffen, als wenn die Bilder von einem und demselben Aussenpunkte stammten.

Anders verhält es sich, wenn wir statt des Liniensystems ein isolirtes Punktsystem in den Längshoropter bringen. Hier bildet sich jeder Punkt, der nicht zugleich im Querhoropter und also im Punkthoropter liegt, zwar auf correspondirenden Längsschnitten, nicht aber auf correspondirenden Punkten derselben ab, und seine Bilder haben also eine Längsdisparation.

Um also zugleich diese Längsdisparation zur Geltung kommen zu lassen, kann man kleine Perlen von verschiedener Grösse auf Coconfäden reihen, und sie in unregelmässigen Abständen von etwa $^1/_2$ bis 2 Ctm. mittels einer Gummilösung an den Fäden befestigen. Mit diesen Fäden wiederhole man den eben beschriebenen Versuch und wähle die Beleuchtung und den Hintergrund so, dass man zwar die Perlen deutlich, die feinen Coconfäden aber gar nicht sieht. Wieder wird man die Fäden, wenn sie sich in einer Ebene befinden, auch in einer Ebene oder vielleicht in einer sehr schwach, aber in regelmässiger und symmetrischer Weise gekrümmten Cylinderfläche (s. u.) sehen. Waren die Fäden nicht alle in derselben Ebene, und stellt man sich die Aufgabe, sie in einer solchen anzuordnen, so wird man sie wirklich wieder in eine Ebene oder vielleicht in eine sehr schwach, aber im entgegengesetzten Sinne gekrümmte Cylinderfläche bringen.

Jede der jetzt gleichsam frei in der Luft schwebenden Perlen bildet sich, da die Fäden ziemlich genau im Längshoropter liegen, auf correspondirenden Längsschnitten, nicht aber, mit Ausnahme der fixirten Perle und der sonst noch zufällig im Punkthoropter liegenden, auf correspondirenden Querschnitten ab. Ihre Bilder haben daher zwar Längsdisparation, nicht aber quere Disparation. Doch erscheinen uns alle Perlen, sowohl die im Punkthoropter liegenden und daher auf Deckpunkten abgebildeten, als die übrigen, deren Bilder sich auf disparaten Punkten correspondirender Längsschnitte befinden, in derselben ebenen oder äusserst schwach cylindrisch gekrümmten Fläche. Lassen wir einen Faden verschieben, so sehen wir auch hier sofort alle auf ihm befestigten Perlen aus der Fläche der übrigen im entsprechenden Sinne heraustreten. Auch dieser Versuch lässt sich mittels projectivischer Zeichnungen eines Punktsystems nach der haploskopischen Methode wiederholen.

Man spanne sehr feine Drähte von gleicher Stärke parallel über einen grossen Rahmen so, dass nur drei in einer Ebene, die übrigen

theils vor, theils hinter dieser Ebene liegen; einer der eben genannten drei Drähte gehe durch den Mittelpunkt der Fläche des Rahmens und habe in diesem Mittelpunkt eine Marke. Diesen Rahmen stellt man senkrecht zur Medianlinie so, dass die Fäden horizontal liegen. Lässt man nun Jemanden, der die Anordnung der Drähte nicht kennt, fest die Marke des Mitteldrahtes fixiren aus etwa 1 Mtr. Entfernung durch eine kurze Röhre, welche beiden Augen den Rahmen ganz verdeckt, so ist derselbe nicht im Stande, die Anordnung der Drähte zu erkennen und immer geneigt, sie sämmtlich in einer Ebene zu sehen.

Hierbei bildet sich, falls die mittlen Längsschnitte senkrecht zur Blickebene sind und die Ebene der Drähte parallel der Frontalebene liegt, entweder nur der in der Blickebene liegende, oder wenn die oben beschriebene Incongruenz der Netzhäute vorhanden ist, gar kein Draht auf correspondirenden Netzhautlinien ab. Denken wir uns beide Netzhäute sammt den Bildern der Drähte so ineinander gelegt, dass die mittlen Querschnitte und die Netzhautcentren zusammenfallen, so kreuzen sich je zwei zusammengehörige Drahtbilder unter einem sehr spitzen Winkel, wie es Fig. 24 darstellt, in welcher *qq* die zusammengelegten queren Mittelschnitte, die schrägen unterbrochenen Linien zwei Drahtbilder im linken, die schrägen ausgezogenen Linien zwei Drahtbilder im rechten Auge schematisch darstellen. Diese Drahtbilder haben also keine quere Disparation und erhalten sie auch dann nicht, wenn man nicht fest fixirt, sondern die Convergenz der Gesichtslinien etwas mehrt oder mindert. Dieser Versuch ist seinem wesentlichen Inhalte nach von H. MEYER[1] angegeben worden.



Fig. 24.

Aus allen diesen Versuchen und ihren zahlreichen Modificationen folgt erstens, dass, wenn keine anderweitigen Motive für die Lokalisirung nach der Dimension der Tiefe wirksam sind, bei einer gegebenen Lage des Blickpunktes alle im Längshoropter gelegenen und daher auf correspondirenden Längsschnitten abgebildeten Linien oder Punkte mit grosser Bestimmtheit in einer Fläche erscheinen, welche entweder eine Ebene oder eine sehr schwach gekrümmte Cylinderfläche ist, und dass zweitens alle diesseits der Längshoropterfläche gelegenen Punkte oder Linien, deren Netzhautbilder eine gekreuzte

1 H. MEYER, Arch. f. Ophthalmologie II. 2. Abth. S. 92. 1856.

quere Disparation haben, vor jener Fläche erscheinen, alles jenseits des Längshoropters Gelegene und deshalb mit ungekreuzter Disparation Abgebildete aber hinter jener Fläche erscheint, in der das im Längshoropter selbst Gelegene gesehen wird.

Letztere Fläche nun heisse die Kernfläche des Sehraums. In ihr erscheint Alles, was sich correspondirend oder nur mit Längsdisparation abbildet; sie scheidet im Sehraume das mit gekreuzter Disparation Gesehene von dem mit ungekreuzter Disparation Gesehenen. Je grösser die quere Disparation eines Doppelnetzhautbildes, desto weiter erscheint das entsprechende Sehding hinter oder vor dieser Kernfläche. Auch lässt sich durch zweckmässige Modification der obigen Versuche leicht zeigen, dass alle Punkte oder Linien, deren Netzhautbilder eine gleich grosse gekreuzte Disparation haben, gleichweit von der Kernfläche nach vorn abliegend und daher in einer der Kernfläche parallelen Fläche erscheinen, und dass mutatis mutandis dasselbe von allen mit gleich grosser ungekreuzter Disparation abgebildeten Punkten oder Linien gilt.

Nach der Ansicht HERING's[1] ist die Kernfläche immer eine Ebene, sofern nicht anderweite Motive für die Localisirung nach der Dimension der Tiefe ins Spiel kommen. Er betrachtete bei ähnlicher Anordnung, wie die oben geschilderte, ein ebenes System sehr feiner Fäden aus grösserer Nähe und sah bei fester Fixirung des Mittelfadens die Fäden in einer nach dem Gesichte deutlich convexen verticalen Cylinderfläche. Um die Fäden bei Fixirung des Mittelfadens in einer Ebene zu sehen, musste er sie in einer nach dem Gesichte concaven Cylinderfläche anordnen. Die Krümmung jener convexen, wie dieser concaven Cylinderfläche musste um so stärker sein, je näher der Blickpunkt dem Gesichte lag. Verglich er die Krümmung der Cylinderfläche, in welcher die Fäden liegen mussten, um in einer Ebene zu erscheinen, mit der Krümmung des, der gegebenen Convergenzstellung entsprechenden schematischen Längshoropters, so ergab sich, dass die Cylinderfläche des letzteren stärker gekrümmt war, als die Cylinderfläche der Fäden. Er vermuthete daher[2], dass die correspondirenden Längsschnitte nicht genau in der Weise angeordnet sind, wie wir es oben angenommen haben, sondern dass die Breitenwerthe der Längsschnitte auf der äusseren Netzhauthälfte rascher wachsen, als auf der inneren. Es würde dann z. B. die Richtungslinie eines auf der äusseren Hälfte des queren Mittelschnittes der linken Netzhaut gelegenen Punktes mit der Gesichtslinie einen etwas kleineren Winkel einschliessen, als die Richtungslinie des correspondirenden Punktes auf der inneren Hälfte der rechten Netzhaut. An die Stelle des MÜLLER'schen Horopterkreises würde eine andere Curve, für stärkere Convergenzen wahrscheinlich eine Ellipse treten, welche ebenfalls durch den Blickpunkt und die bei-

1 HERING, Beiträge zur Physiologie V. 1864.
2 Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 82 u. 161.

den mittlen Knotenpunkte ginge, und deren in der Medianebene liegender Durchmesser der kleinere wäre. Durch diese Curve müssten also bei der erwähnten Augenstellung die Fäden senkrecht zur Blickebene hindurchgehen, um in einer Ebene zu erscheinen. Fäden, die in einer wirklichen Ebene liegen, welche die elliptische Cylinderfläche des Längshoropters im fixirten Mittelfaden tangirt, würden mit Ausnahme des letzteren hinter dem Längshoropter liegen und sich auf Längsschnitten von ungekreuzter. Disparation abbilden, um so mehr, je weiter sie vom Mittelfaden nach rechts oder links abliegen; daraus würde dann resultiren, dass die Fäden in einer gegen das Gesicht convexen Fläche erscheinen müssten, wie es auch thatsächlich der Fall ist. Es würde sich ferner aus dieser Annahme ergeben, dass in einer gewissen Entfernung vom Auge, bei welcher nach der gewöhnlich angenommenen Anordnung der Deckpunkte der Längshoropter noch eine schwache nach dem Gesichte concave cylindrische Krümmung hat, derselbe bereits eine Ebene und in noch grösserer Entfernung eine nach dem Gesichte schwach convexe Cylinderfläche (zweiten Grades) sein müsste.

Zur Unterstützung dieser Ansicht liesse sich die oben (S. 362) schon erwähnte Beobachtung Kundt's über die Halbirung horizontaler Linien anführen; ferner die Angabe Nagel's[1], dass man bei haploskopischer Vereinigung zweier ganz gleicher ebener Systeme paralleler Verticallinien oder identischer ebener Druckschriften die Linien oder die Zeilen auf einer nach dem Gesichte concaven Fläche zu sehen glaubt.

Wäre diese Hypothese richtig, so böte sich jetzt auch ein einfaches Mittel, den Längshoropter empirisch mit einer viel grösseren Genauigkeit zu bestimmen, als es die weiter unten zu besprechende Methode mit Hülfe der Doppelbilder gestattet.

Aber es steht dieser Hypothese eine andere von Helmholtz aufgestellte entgegen. Dieser meint, dass ein im cylindrischen Längshoropter gelegenes Fadensystem in seiner wirklichen Anordnung, d. h. in einer entsprechenden Cylinderfläche erscheine, wenn nur Vorsorge getroffen sei, dass man das Fadensystem in der richtigen Entfernung localisire. Dies sei aber bei den beschriebenen Versuchen nicht der Fall, vielmehr unterschätze man dabei den Convergenzgrad der Gesichtslinien und sehe daher die Fäden zu fern. Nun kann aber ein entferntes cylindrisches System verticaler Fäden von schwächerer concaver Krümmung genau dieselben Netzhautbilder geben, wie ein näheres und stärker concav gekrümmtes; ein entfernteres convexes System dieselben Bilder, wie ein näheres ebenes; ein näheres concaves System dieselben Bilder, wie ein entfernter liegendes ebenes System. Auf diese Weise würden sich die oben angeführten Täuschungen über die Form des Liniensystems vollständig erklären.

Den Grund dafür, dass wir die Fäden in zu grosse Ferne verlegen[2], sucht Helmholtz in dem Mangel sichtbarer verticaler Distanzen. Er reihte

1 Nagel, Das Sehen mit zwei Augen S. 58.

2 Eine Ausnahme hiervon macht der angeführte Versuch Nagel's, bei welchem das haploskopisch gesehene Liniensystem in der Nähe erscheint, obwohl ein Fadensystem, welches bei parallelen Gesichtslinien dieselben Netzhautbilder giebt, sehr fern liegen müsste. Dies entspricht jedoch ebenfalls der Ansicht von Helmholtz.

deshalb Perlen auf die Fäden. Ein entferntes ebenes System solcher Fäden giebt jetzt nicht mehr dieselben Netzhautbilder, wie ein näheres, concav-cylindrisches, weil zwar die Fäden im Ganzen sich beidenfalls auf denselben Netzhautstellen abbilden und also die horizontalen scheinbaren Distanzen der Fäden in beiden Fällen dieselben sein können, die Perlen eines näheren cylindrischen Systems aber sich mit anderer Längsdisparation abbilden, als die eines ferneren ebenen Systems, und also die verticalen scheinbaren Distanzen für beide Augen nicht in beiden Fällen dieselben sind. Aus diesen Verschiedenheiten der Längsdisparation der beiden Bilder erkennen wir nach Helmholtz, dass das System im einen Falle ein ebenes, im anderen ein cylindrisches ist. Während also Hering annimmt, dass Längsdisparation zweier zusammengehöriger Netzhautbilder ohne allen Einfluss auf die binoculare Tiefenwahrnehmung sei, bietet dieselbe nach Helmholtz eine Mithülfe zur richtigen Localisirung nach der Tiefe.[1] Uebrigens sind die Versuche von Helmholtz mit denen von Hering nicht streng vergleichbar, weil letzterer dieselben bei fester Fixirung angestellt hat, während Helmholtz den Blick von einem Faden zum andern wandern liess.

Gleichviel ob die eine oder die andere Ansicht richtig ist, die oben erörterte Definition und Bedeutung der Kernfläche bleibt dieselbe, nur würde dieselbe bei Ausschluss aller anderweitigen Motive der Localisirung nach Hering stets eine Ebene, nach Helmholtz eine Cylinderfläche sein, deren Krümmungsradius mit der scheinbaren Ferne der Fläche wächst.

Bei symmetrischer Kopfhaltung befinde sich in der Medianebene des Kopfes und in mittler Sehweite ein senkrechter Faden oder Draht, welcher in der Höhe der Augen sich mit einem horizontalen queren Faden oder Draht kreuzt und im Kreuzungspunkt mit letzterem verknüpft ist. Dieser Kreuzungspunkt wird binocular fixirt und dabei Sorge getragen, dass die queren Mittelschnitte der Netzhäute in der horizontalen Blickebene liegen.[2] Der Hintergrund sei ganz gleichfarbig, und eine kurze vor das Gesicht gehaltene Röhre verdecke das obere und untere Fadenende. Lässt man nun den Faden oder auch nur die obere oder untere Fadenhälfte um den fixirten Punkt so drehen, dass sie immer in der Medianebene bleiben, so sieht man den Faden sich in der scheinbaren Medianebene vor- oder zurückneigen bis zu einer gewissen Grenze seiner wirklichen Neigung, über welche hinaus er in Doppelbilder zerfällt. Der Faden tritt hierbei bald vor bald hinter die Längshoropterfläche, und jeder Punkt desselben giebt also ersterenfalls Bilder von gekreuzter letzterenfalls von ungekreuzter querer Disparation. Das Bild eines beliebigen Fadenpunktes steht auf der einen Netzhaut ebensoweit vom mittlen Längsschnitt ab, als sein Bild auf der andern Netzhaut und zwar ist

1 Ueber weitere Versuche, welche Helmholtz zur Stütze seiner Ansicht beibringt, vergl. Physiol. Optik S. 656.

2 Ueber die Controle dieser Netzhautlage vergl. das Capitel über die Augenbewegungen.

die Richtung des Abstandes beiderseits entgegengesetzt. Diese Art der queren Disparation, bei welcher die zusammengehörigen Bilder symmetrisch zu den beiden mittlen Längsschnitten der Netzhäute liegen, heisse eine absolut symmetrische Querdisparation.

Der Versuch lehrt also, dass alle Aussenpunkte, welche entweder ein correspondirendes auf den mittlen Längsschnitten liegendes oder ein zu diesen Längsschnitten symmetrisch disparates Doppelnetzhautbild geben, aber gleichwohl nicht als Doppelbilder gesehen werden, in einer Ebene erscheinen, welche unter den besonderen Bedingungen des obigen Versuches mit der scheinbaren Medianebene zusammenfällt. Diese Ebene ist dieselbe, welche wir im vorigen Capitel als die mittle Längsebene des Sehraums bezeichneten. Wir sahen, dass dieselbe die Sehrichtungslinien aller auf den mittlen Längsschnitten der Netzhäute liegenden Bilder enthält. Jetzt haben wir erfahren, dass zugleich auch die Sehrichtungslinien aller mit absolut symmetrischer Querdisparation abgebildeten und einfach gesehenen Aussenpunkte in dieser Ebene liegen. Dieser Satz lässt sich ebenfalls mittels haploskopischer Versuche erweisen, wenn man entsprechend geneigte gerade Linien durch die beiderseitigen Fixationspunkte legt.

Man fixire wieder unter denselben Bedingungen, wie beim letzten Versuche, einen verticalen Coconfaden, der in der Höhe der Augen eine Perle trägt. Rechts und links sollen sich in nicht ganz gleicher Entfernung vom Gesichte noch einige verticale Coconfäden befinden, an welchen in derselben Höhe je eine Perle befestigt ist, so dass sämmtliche Perlen in der horizontalen Blickebene liegen. Man erkennt hierbei wie schon aus dem oben beschriebenen Versuche mit den Fäden hervorgeht sofort, welche Perlen in einer der Frontalebene parallelen Horizontale liegen, welche näher und welche ferner sind. Alle Perlen werden einfach gesehen, sofern nicht eine oder die andere allzuweit von der Längshoropterfläche abliegt und deshalb ein Doppelbild giebt. Zugleich scheinen alle Perlen, die näheren wie die ferneren in einer Ebene zu liegen, welche unter den gegebenen Bedingungen des Versuchs mit der scheinbaren horizontalen Hauptebene zusammenfällt. Die Perlen geben theils correspondirende, theils gekreuzte oder ungekreuzte Doppelnetzhautbilder. Es folgt also, dass alle Aussenpunkte, deren Doppelnetzhautbilder, seien sie correspondirende oder disparate, auf den mittlen Querschnitten liegen, in einer Ebene erscheinen, welche wir im vorigen Capitel als quere Mittelebene des Sehraums bezeichneten.

Eine horizontale Reihe von Perlen sei mittels verticaler Coconfäden so angeordnet, dass sämmtliche Perlen bei Fixirung der mittlen im Horopterkreise liegen, was also wieder voraussetzt, dass die queren Mittelschnitte der Netzhäute in der Blickebene liegen. Die übrigen Versuchsbedingungen seien die gleichen wie beim vorigen Versuche. Jetzt neige man, während die mittle Perle fixirt wird, seinen Kopf nach vorn oder hinten. Dabei nehmen, wie im Capitel über die Augenbewegungen gezeigt werden soll, die Augen eine derartige Stellung an, dass die queren Mittelschnitte der Netzhäute nicht mehr in der Blickebene liegen, sondern einen kleinen Winkel mit der Blickebene einschliessen. Beim Vorneigen des Kopfes convergiren sie etwas nach oben, wie es Fig. 25 schematisch darstellt. Es

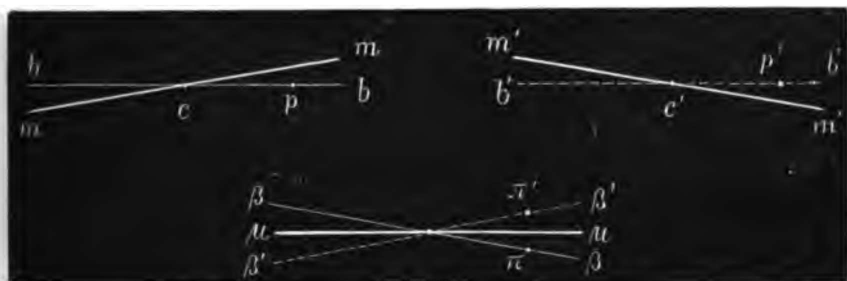


Fig. 25.

ist bb und $b'b'$ derjenige linke oder rechte Netzhautmeridian, in welchem die Blickebene die Netzhaut schneidet, mm und $m'm'$ der quere Mittelschnitt jeder Netzhaut. Die Bilder der Perlen befinden sich sämmtlich auf den Meridianen bb und $b'b'$; die Bilder p, p' einer bestimmten Perle liegen gleichweit von den Netzhautcentren ab, auf correspondirenden Längsschnitten aber auf disparaten Stellen derselben, denn p liegt unterhalb, p' oberhalb des bezüglichen queren Mittelschnittes. Denken wir beide Netzhäute so ineinander gelegt, dass die queren Mittelschnitte zusammenfallen, so stellen $\mu\mu$ die so vereinigten Mittelschnitte, π und π' die beiden zusammengehörigen Bilder der Perle dar. Man sieht, dass beide Bilder gleichweit, aber entgegengesetzt von dem queren Mittelschnitte der Doppelnetzhaut abliegen, was man als absolut symmetrische Längsdisparation bezeichnen kann. Trotz dieser Längsdisparation ihrer Bilder erscheint die entsprechende Perle ebenso wie alle übrigen in derselben Ebene wie vorhin, wo sämmtliche Perlenbilder auf den queren Mittelschnitten waren, nämlich in der queren Mittelebene des Sehraums, welche in diesem Falle mit der scheinbaren horizontalen Hauptebene zusammenfällt.

Wir können also die zuletzt ausgesprochene Regel dahin erweitern, dass alle Aussenpunkte, deren Bilder auf correspondirenden oder auf disparaten Stellen der mittlen Querschnitte liegen oder endlich eine absolut symmetrische Längsdisparation haben, in der queren Mittelebene des Sehraums erscheinen.

Im vorigen Capitel wurde gezeigt, dass diese Ebene alle Sehrichtungslinien derjenigen Deckstellenpaare enthält, welche den mittlen Querschnitten der Netzhäute angehören. Die beiden letzten Versuche lehren, dass auch die Sehrichtungslinien disparater Stellenpaare der queren Mittelschnitte, sowie die Sehrichtungslinien absolut symmetrisch längsdisparater Stellenpaare in dieser Ebene liegen, immer vorausgesetzt, dass die auf diesen Stellenpaaren liegenden Doppelnetzhautbilder im Sehraume einfach und nicht als Doppelbilder gesehen werden.

Alles dies lässt sich auch nach der haploskopischen Methode erweisen.

Den auf Seite 403 bewiesenen Satz, dass einfach gesehene Aussenpunkte, deren Bilder symmetrisch zu den mittlen Längsschnitten liegen, in derselben Sehrichtungsebene erscheinen wie die auf den mittlen Längsschnitten selbst disparat oder correspondirend abgebildeten, hat Hering auch auf jedes andere correspondirende Längsschnittpaar übertragen und behauptet, dass jeder Aussenpunkt dessen Netzhautbilder zu einem bestimmten correspondirenden Längsschnittpaare relativ symmetrisch liegen, so dass das eine Bild vom einen Längsschnitt soweit nach rechts (oder links) abliegt, als das andere Bild nach links (oder rechts) vom andern Längsschnitte, in derselben Ebene erscheinen, in welcher auch die auf dem bezüglichen Längsschnittpaare selbst abgebildeten Aussenpunkte gesehen werden. Analog hat er den auf Seite 405 bewiesenen Satz, dass Punkte, deren Netzhautbilder eine zum mittlen Querschnittpaar absolut symmetrische Längsdisparation haben, in derselben Sehrichtungsebene wie die auf den mittlen Querschnitten selbst (disparat oder correspondirend) abgebildeten Punkte erscheinen, auf alle übrigen correspondirenden Querschnittpaare übertragen.

Wenn die Netzhautbilder eines Aussenpunktes keine reine Längsdisparation oder reine Querdisparation haben, sondern schräg disparat sind, so kann man sich die schräge Disparation in eine Längs- und eine quere Disparation zerlegt denken. Ein solcher Punkt erscheint nun nach Hering auf der Sehrichtungsebene desjenigen correspondirenden Längsschnittpaares, zu welchem die quere Componente seiner Disparation symmetrisch ist, und auf der Sehrichtungsebene desjenigen correspondirenden Querschnittpaares, zu welchem die Längscomponente seiner Disparation symmetrisch ist, d. h. also auf der Durchschnittslinie dieser beiden Sehrichtungsebenen.

Diese Sätze wurden theils aus der Beobachtung an wirklichen Objecten, theils aus Versuchen nach der haploskopischen Methode abstrahirt.

Die binoculare Tiefenwahrnehmung auf Grund der Disparation zusammengehöriger Netzhautbilder wurde seit der Erfindung des Stereoskops (vergl. Abschnitt II) vielfach nach der haploskopischen Methode untersucht, am eingehendsten von Panum [1] und Nagel.[2] Die oben angeführten allgemeinen Sätze, welche sich ebenso aus den haploskopischen Versuchen als aus den Versuchen an wirklich einfachen Aussenobjecten abstrahiren lassen, und welche nichts weiter als ein zusammenfassender Ausdruck für die grosse Mannichfaltigkeit der Thatsachen sind, hat zuerst Hering [3] aufgestellt. Ihre Gültigkeit ist ganz unabhängig von der Richtigkeit einer viel bestrittenen Hypothese, welche derselbe zur Erklärung jener Sätze gemacht hat.[4]

Nach der Identitätslehre von Joh. Müller sollte nur das mit Deckstellen Gesehene einfach, alles mit disparaten Stellen Gesehene dagegen doppelt erscheinen. Durch die stereoskopischen Versuche Wheatstone's aber schien bewiesen zu sein, dass auch mit disparaten Stellen einfach gesehen werden könne. Um gleichwohl das Ergebniss dieser Versuche mit der Müller'schen Identitätslehre in Einklang zu bringen, stellte Brücke[5] die Hypothese auf, dass dieses Einfachsehen mit disparaten Stellen nur ein scheinbares sei; dass vielmehr durch Hin- und Herwandern des Blickes unter fortwährender Aenderung der Convergenz die Netzhautbilder der einzelnen Theile des körperlichen Objectes oder seiner beiden Projectionen nacheinander auf Deckstellen gebracht würden, und aus der so entstehenden Reihe successiver correspondirender Eindrücke, welche der jeweiligen Convergenz entsprechend in verschiedener Entfernung localisirt würden, das Anschauungsbild des nach der Dimension der Tiefe ausgedehnten Objectes sich aufbaue. Hiernach würde die zum successiven Einfachsehen der einzelnen Punkte nöthige Aenderung der Convergenz eine Bedingung der binocularen Tiefenwahrnehmung sein.

Inwieweit eine solche Wanderung des Blickpunktes bei der binocularen Tiefenwahrnehmung in Betracht kommt, wird im zweiten Abschnitt zu erörtern sein. Dass aber die letztere auch ohne Blickbewegung möglich ist, wurde auf verschiedene Weise schlagend erwiesen. Dove[6] zeigte, dass die stereoskopische Verschmelzung zweier incongruenter projectivischer Doppelzeichnungen auch bei der Beleuchtung durch den electrischen Funken eintreten kann, dessen Dauer viel zu kurz ist, um die nach Brücke nöthigen Augenbewegungen

---

1 Panum, Physiol. Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.
2 Nagel, Das Sehen mit zwei Augen. Leipzig u. Heidelberg 1861.
3 Hering, Die Gesetze der binocularen Tiefenwahrnehmung. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 79 u. 152.
4 Derselbe, Beiträge zur Physiologie V.
5 Brücke, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1841. S. 459.
6 Dove, Monatsber. d. Berliner Acad. 1841. S. 252 und Farbenlehre S. 153. 1853.

ausführen zu können. AUBERT[1] und nach ihm HELMHOLTZ[2] verbesserten diesen Versuch dadurch, dass sie in den beiden zu verschmelzenden Zeichnungen an entsprechenden Stellen je ein kleines Loch anbrachten, welches von hinten beleuchtet wurde und dem gegenüber liegenden Auge als Fixationspunkt diente, während die Zeichnungen selbst noch verdunkelt waren. Dadurch wurde verhütet, dass nicht die Gesichtslinien im Momente der Beleuchtung eine unpassende Convergenz hatten. AUBERT benutzte hierbei auch einen in der Medianebene liegenden Faden, der zur Horizontalebene in einer dem Beobachter unbekannten Weise geneigt war; dabei wurde die Lage des Fadens stets richtig erkannt.

ROGERS[3] erzeugte sich erst das Nachbild einer von zwei zusammengehörigen projectivischen Zeichnungen im einen Auge, dann das der andern im andern Auge und sah die beiden Nachbilder stereoskopisch verschmelzen. HERING[4] blickte mit beiden Augen durch eine kurze cylindrische Röhre nach einer ungefähr in mittler Sehweite befindlichen verticalen Nadel, während ein Gehülfe Kugeln von verschiedener Grösse rechts oder links von der Nadel und bald näher bald ferner als dieselbe aus verschiedener Höhe herabfallen liess; er vermochte ebenso wie viele andere Personen stets mit Sicherheit anzugeben, ob die Fallbahn der Kugel näher oder ferner oder gleichfern war wie die Nadel. Er empfahl, diesen einfachen Versuch zu benützen, um festzustellen, ob die Versuchsperson binocular sieht oder nicht. VAN DER MEULEN[5] wiederholte diese Versuche und construirte zur bequemeren Vornahme derselben einen Apparat. DONDERS[6] benützte electrische Funken als Objecte der Tiefenwahrnehmung, nicht blos wie DOVE zur Beleuchtung, indem er an bestimmter Stelle des sonst dunklen Raumes fortwährend schwache Inductionsfunken überspringen liess, welche einen scheinbar continuirlich leuchtenden Fixationspunkt bildeten, und ferner oder näher dem Gesichte des Beobachters an verschiedenen Stellen einen anderen einfachen Funken erzeugte. Dabei wusste fast Jeder sofort anzugeben, ob dieser Funken näher oder ferner lag als der Fixationspunkt. Die Meisten wussten auch die Entfernung ziemlich genau zu bestimmen.

JOH. MÜLLER glaubte, dass Deckstellen in Betreff ihrer Raumwerthe identisch seien, wonach es für die räumliche Wahrnehmung ganz gleich-

---

1 AUBERT, Physiologie der Netzhaut S. 315. 1865.
2 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 740.
3 ROGERS, Silliman's Journal 2. XXX. Nov. 1860 (citirt nach HELMHOLTZ).
4 HERING, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 153.
5 VAN DER MEULEN, Arch. f. Ophthalmologie XIX. 1. Abth. S. 113. 1873.
6 DONDERS, ebenda XIII. 1. Abth. S. 1. 1867.

gültig sein müsste, ob ein Bild auf der rechten Netzhaut oder auf correspondirenden Stellen der linken Netzhaut liegt. Dem widersprechen die in diesem Capitel beschriebenen Thatsachen. Wird z. B. der Punkt *f* Fig. 26 fixirt, so bildet sich *p* mit gleichseitiger Disparation auf den Netz-

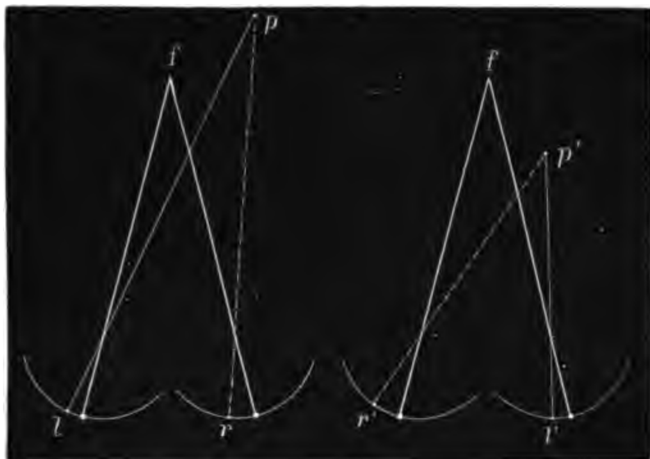


Fig. 26.

hautstellen *r* und *l*, der Punkt *p'* dagegen mit gleich grosser ungleichseitiger Disparation in *r'* und *l'* ab. Nun ist aber *l'* correspondirend mit *l*, *r'* correspondirend mit *r*. Wären also *l* und *l'*, sowie *r* und *r'* für die räumliche Wahrnehmung ganz gleichwerthig, so müsste auch die Localisirung der Punkte *p* und *p'* im Sehraume dieselbe sein, was nicht der Fall ist: *p* wird vielmehr ferner, *p'* näher gesehen als der Blickpunkt *f*. Diesen Widerspruch suchten die Einen dadurch zu beseitigen, dass sie die Correspondenz der Netzhäute überhaupt bestritten und behaupteten, die Netzhautbilder würden in der Richtung ihrer zugehörigen Richtungslinien gesehen, und zwei zusammengehörige Bilder im Durchschnittspunkte ihrer Richtungslinien localisirt, was, wie die bisher angeführten Thatsachen zur Genüge lehren, ganz unzulässig ist; Andere erkannten zwar die Correspondenz an, behaupteten aber gleichwohl, die Netzhautbilder würden auf den Richtungslinien (oder Visirlinien) gesehen, sodass je zweien Deckstellen zwei ganz verschiedene Sehrichtungen zukommen sollten. Man nannte die Richtungslinien deshalb auch Projectionslinien, weil auf ihnen die Netzhautbilder gleichsam in den Aussenraum projicirt werden sollten. „Der scheinbare Ort eines durch zwei zusammengehörige Componenten entstandenen Sammelbildes wird, sagte Panum [1], durch die Kreuzungspunkte der den Componenten entsprechenden Projectionslinien bestimmt". Diese Ortbestimmung ist nach seiner Ansicht ein unmittelbarer Empfindungsact, den er als die Empfindung der binocularen Parallaxe bezeichnete.

---

1 Panum, Physiol. Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen S. 81. Kiel 1858.

Dem gegenüber bewies Hering[1] ausführlich, dass erstens, wenn man die Correspondenz der Netzhäute anerkennt, man logischer Weise nicht die Richtungslinien als Sehrichtungen ansehen darf; zweitens, dass die Richtungslinien überhaupt nicht die Sehrichtungen sind. Er zeigte, dass je zwei correspondirenden Stellen zwar wirklich ein identischer Höhen- und Breitenwerth zukomme, wie dies Joh. Müller annahm, dass man aber dessen Lehre von der völligen räumlichen Gleichwerthigkeit der Deckstellen aufgeben müsse, weil dieselben betreffs der Tiefenwahrnehmung nicht gleichwerthig sind, was er aus angeborenen Verschiedenheiten der von zwei Deckstellen ausgelösten Empfindungen zu erklären versucht.[2] Auch Helmholtz[3] vertritt die Identität des Breiten- und Höhenwerthes zweier Deckstellen und nimmt ebenfalls an, dass angeborene Verschiedenheiten der Empfindungen zweier Deckstellen die Tiefenwahrnehmung ermöglichen. Aber während Hering diese angeborenen Verschiedenheiten darin sucht, dass die von Deckstellen ausgelösten Empfindungen angeborenermaassen einen verschiedenen räumlichen Charakter (einen verschiedenen „Tiefenwerth") haben, meint Helmholtz, dass die von der rechten Netzhaut ausgelösten Empfindungen sämmtlich durch ein unbekanntes Quale von den Empfindungen der linken Netzhaut verschieden seien, ein Quale, welches ebenso wie die reine Empfindung überhaupt keinen räumlichen Charakter habe, sondern nur mit dazu benutzt werde, aus der Empfindung die entsprechende räumliche Vorstellung oder Wahrnehmung gestalten zu lernen.

Endlich ist noch einer neuen Hypothese von Schön[4] zu gedenken. Derselbe nimmt mit Hering an, dass die Gesichtsempfindungen von vornherein, also angeborenermaassen räumliche sind. Betreffs der Correspondenz der Netzhäute aber geht er wieder auf Joh. Müller zurück und glaubt, dass die von identischen Punkten stammenden Empfindungen räumlich gleichwerthig sind.

Um nun gleichwohl die binoculare Tiefenwahrnehmung erklären zu können, bemüht er sich *qualitative* Verschiedenheiten der in räumlicher Beziehung als identisch angenommenen Empfindungen zweier Deckstellen aufzufinden, welche Verschiedenheiten als Anhaltpunkt für die richtige räumliche Auslegung dienen sollen. Diese Verschiedenheiten zweier von Deckstellen kommenden Empfindungen beruhen nach seiner Ansicht in der Hauptsache theils darauf, dass die eine Deckstelle erregbarer ist als die andere („Erregbarkeitsmerkmal"), theils darauf, dass beide im Wettstreit der Sehfelder nicht gleichwerthig sind („Wettstreitmerkmal").

Schliesslich möge noch an die bekannte Thatsache erinnert werden, dass bei gewissen Thieren ein angeborenes und bereits weit entwickeltes Vermögen zur Tiefenwahrnehmung vorkommt, wie Jeder weiss, der z. B. frisch ausgeschlüpfte Hühnchen beobachtet hat. Dadurch sind die theoretischen Bedenken, welche die Philosophie gegen die Möglichkeit und Denkbarkeit angeborener Tiefenwahrnehmung vorgebracht hat, thatsächlich be-

---

1 Hering, Beiträge zur Physiologie II. 1862.
2 Derselbe, ebenda V. 1864 und Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 95.
3 Helmholtz, Physiol. Optik § 31.
4 Schön, Arch. f. Ophthalmologie XXII. 4. Abth. S. 31 und XXIV. 1. Abth. S. 27 und 4. Abth. S. 47.

hoben, und es steht nichts der Annahme entgegen, dass auch die Gesichtsempfindungen des neugeborenen Menschen schon räumliche Eigenschaften haben, welche sich auf alle drei Dimensionen des Raumes erstrecken, wenngleich das Vermögen der klar bewussten Unterscheidung dieser räumlichen Eigenschaften der Empfindungen sich beim Menschen erst nach der Geburt ausbildet, während das gleichsam frühreif geborene Hühnchen sofort ziemlich scharfe räumliche Unterscheidungen nach allen drei Dimensionen des Raumes macht.

SIEBENTES CAPITEL.

Die Richtigkeit der Localisirung im Sehraume.

Wir haben uns im Obigen nur damit beschäftigt zu untersuchen, nach welchen Gesetzen bei unbewegtem Blickpunkt auf Grund des gegebenen Doppelnetzhaubildes der Sehraum sich aufbaut. Wir lernten den Kernpunkt des Sehraumes als den scheinbaren Ort des binocularen fixirten wirklichen Punktes kennen. Wir fanden ferner zwei ausgezeichnete Ebenen des Sehraums, nämlich die mittle Längsebene und die mittle Querebene, welche die scheinbaren Orte aller der Punkte oder Linien enthielten, die sich auf dem mittlen Längsschnittpaar und dem mittlen Querschnittpaar der Doppelnetzhaut oder mit symmetrischer Disparation zu diesen Schnittpaaren abbilden. Jene beiden Ebenen des Sehraums schienen stets einen rechten Winkel einzuschliessen, obwohl der mittle Längsschnitt der Netzhaut in den meisten Augen nicht rechtwinkelig zum mittlen Querschnitte liegt.

Wir lernten ferner ein System von geraden Linien im Sehraume kennen, nämlich das der Sehrichtungslinien und sahen, dass jedem Deckstellenpaare eine dieser Linien zugehört, derart, dass Alles was sich auf diesem Deckstellenpaar (oder auch mit relativ symmetrischer Disparation zu diesem Stellenpaar) abbildet auf jener Linie erscheint. Die Anordnung dieser Sehrichtungslinien im Sehraume fanden wir in gesetzmässiger Weise abhängig von der Anordnung der Deckstellen auf der Doppelnetzhaut.

Endlich fanden wir noch eine dritte durch den Kernpunkt gehende ausgezeichnete Fläche im Sehraume, die Kernfläche, als den gemeinsamen scheinbaren Ort aller Aussenpunkte, welche sich correspondirend oder nur mit Längsdisparation, und aller unbegrenzt gesehenen Linien, die sich auf correspondirenden Netzhautlinien oder we-

nigstens ohne jede quere Disparation abbilden. Diese Fläche erwies sich uns, wenn anderweite aus der Erfahrung entnommene Motive der Localisation fehlten, als eine Fläche von sehr einfacher und ganz gesetzmässiger Form, nämlich als eine symmetrisch zur mittlen Längsebene gelegene Ebene (Hering), beziehentlich Cylinderfläche (Helmholtz).

Es zeigte sich also bei einer gegebenen Lage des Blickpunktes die Anordnung der Sehdinge im Sehraume lediglich abhängig von der Gestalt und Lage der Bilder auf der Doppelnetzhaut. Der Sehraum stellte sich uns dar als ein in sich zusammenhängender Complex räumlich geordneter Gesichtsempfindungen. Der feste räumliche Zusammenhang aller Theile desselben war gegeben einerseits durch das System der Sehrichtungslinien, insofern der Empfindung jedes Deckstellenpaares die gerade Linie vorgeschrieben war, auf der sie im Sehraume erscheinen musste, andererseits durch die Kernfläche, indem durch dieselbe jedem zusammengehörigen Bildpaare sein Ort entweder in dieser Fläche selbst oder, je nach Art und Grösse der queren Disparation, mehr oder weniger vor oder hinter dieser Fläche angewiesen war.

Wir haben uns nun aber zu fragen, inwieweit die so auf Grund der Form und Lage der Netzhautbilder gegebene Anordnung der Sehdinge im Sehraume der wirklichen Lage der Dinge im Aussenraume entspricht, und in wieweit die Localisirung, deren Gesetze wir kennen gelernt haben, auch eine richtige ist; ferner, in wieweit, wenn die Localisirung auf Grund dieser Gesetze unrichtig ist, Abweichungen von denselben vorkommen können, weil anderweite aus der Erfahrung stammende Motive der Localisirung eine Correctur bewirken. Bei alledem wollen wir immer noch eine feste Lage des Blickpunktes und im Allgemeinen auch eine horizontal symmetrische Convergenz der Gesichtslinien annehmen und von den Bewegungen des Blickpunktes ganz absehen.

Zur vollkommen richtigen Localisirung würde gehören, dass sich sämmtliche Sehdinge mit den entsprechenden wirklichen Dingen decken. Dazu ist erstens nöthig, dass der Kernpunkt in Beziehung zum Vorstellungsbilde unseres Körpers, welches wir als richtig und den wirklichen Körper deckend annehmen wollen, dieselbe Lage hat, wie der Blickpunkt zum wirklichen Körper; dass die mittle Längsebene und die mittle Querebene des Sehraumes zusammenfallen mit der Medianebene und der horizontalen Hauptebene des wirklichen Raumes; dass die Kernfläche zusammenfällt mit dem Orte der Aussenpunkte und -linien, welche in ihr erscheinen. Zweitens aber ist

dazu erforderlich, dass jeder Punkt im Sehraume zu den genannten drei Cardinalflächen dieselbe Lage hat, wie der entsprechende wirkliche Punkt zu den entsprechenden Flächen des wirklichen Raumes. Die Sehdinge könnten im Sehraume in Beziehung zu einander ebenso geordnet sein wie die wirklichen Dinge unter sich im wirklichen Raume, aber der Sehraum könnte als Ganzes falsch localisirt werden.

Andererseits könnten bei symmetrischer Convergenz der Gesichtslinie zwar die drei Hauptflächen des Sehraumes mit den entsprechenden Flächen des wirklichen Raumes zusammenfallen, aber das Lageverhältniss der Sehdinge in diesen oder zu diesen drei Hauptflächen des Sehraumes könnte ein anderes sein, als das der Dinge im wirklichen Raume. Wir haben schon Fälle kennen gelernt, in welchen die eine oder die andere der eben genannten Forderungen nicht erfüllt war, und wir wollen jetzt diese Forderungen im Einzelnen erörtern, um zu sehen, in wieweit ihre Erfüllung thatsächlich erreicht wird.

I. Die Localisirung des Kernpunktes.

Wenn im sonst dunklen oder leeren Raume in der Medianebene des Aussenraumes ein einzelner Punkt sichtbar wird, so localisiren wir denselben ziemlich bestimmt und, falls er in der Nähe ist, auch ziemlich richtig, selbst wenn keinerlei Vorwissen uns dabei unterstützt.

Wir haben, wie in der Einleitung auseinander gesetzt wurde, zwischen der Bestimmtheit und der Richtigkeit der Localisirung wohl zu unterscheiden. Wenn in der eben beschriebenen Weise ein einzelner sichtbarer Punkt gegeben ist, und wir machen uns zur Aufgabe, uns demselben so gegenüber zu stellen, dass er in die scheinbare Medianebene zu liegen kommt, so werden wir dabei in den meisten Fällen einen Fehler begehen; der Punkt wird nicht genau in der wirklichen Medianebene liegen, obwohl er uns darin zu liegen scheint. Wiederholen wir den Versuch öfters, so erhalten wir eine ganze Reihe solcher Fehler, welche wir theils als positive theils als negative Fehler bezeichnen, je nachdem sie nach der einen oder anderen Richtung begangen wurden.

Summiren wir alle diese positiven und negativen Fehlerwerthe und dividiren die Gesammtsumme durch die Zahl der Versuche, so erhalten wir entweder Null oder einen positiven oder negativen Werth, den sogenannten constanten Fehler.[1] Dieser ist hier ein Maass für die Richtigkeit der Localisirung. Ist er Null, so ist die Localisirung

1 Vergl. Fechner, Elemente der Psychophysik I. S. 121.

im Allgemeinen richtig. Dass sie nicht auch in jedem Einzelfalle richtig ist, liegt an der nicht zureichenden Bestimmtheit der Localisirung. Ein Maass für den Grad der Bestimmtheit finden wir, wenn wir die Abweichung jedes einzeln gefundenen (rohen) Fehlers vom constanten Fehler suchen, die so erhaltenen Einzelwerthe (reine variable Fehler) ohne Rücksicht auf das Vorzeichen summiren und durch die Zahl der Versuche dividiren. So erhalten wir den mittlen reinen Fehler als Maass der Bestimmtheit der Localisirung.

Weder über die Richtigkeit noch über die Bestimmtheit, mit welcher wir einen in der wirklichen Medianebene liegenden Punkt in dieser Ebene localisiren, liegen messende Untersuchungen vor; doch kann man sich in der eben erwähnten Weise durch einfache Versuche leicht überzeugen, dass beide ziemlich gross sein müssen. In wieweit dabei der Umstand in Betracht kommt, dass bei medianer Lage eines Punktes und ganz gleichem Baue beider Augen auch die grösstmögliche Gleichheit beider Netzhautbilder gegeben ist, wäre ebenfalls zu untersuchen.

Ueber die Richtigkeit und Bestimmtheit, mit welcher ein fixirter, in der horizontalen Hauptebene gelegener Punkt bei Primärstellung des Kopfes und symmetrischer Convergenz in dieser Horizontalebene localisirt wird, fehlen ebenfalls Untersuchungen. Doch kann man auch hier durch einfache Versuche nach Analogie des oben Erwähnten feststellen, dass die dabei begangenen Fehler nicht sehr gross sind.

Dagegen sind mannichfache Versuche angestellt worden in Betreff der scheinbaren Entfernung eines in der Medianebene gelegenen Punktes.

Wundt[1] blickte durch eine Röhre, deren Durchmesser den Abstand beider Augen übertraf, nach einem Faden, dessen Entfernung vom Kopfe variirt werden konnte. Die Enden des Fadens waren ihm unsichtbar, und eine gleichfarbige Wand bildete den Hintergrund. Die scheinbare Entfernung des Fadens suchte er dann auf einem in der Hand gehaltenen Maassstabe abzuschätzen. „Bei diesen Versuchen“, sagte er, „überzeugt man sich alsbald, dass es durchaus unmöglich ist, hierbei ein Urtheil über eine absolute Entfernung zu fällen. Zwingt man sich mit dem Maassstabe in der Hand zu einem Urtheil, so fällt dieses immer zu klein aus, und zwar scheint die wirkliche Entfernung meistens um ein Drittel bis die Hälfte verkürzt,

1 Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Ztschr. f. rat. Med. III. Reihe. XII. Bd. S. 157. 1861.

ohne dass aber irgend ein constantes Verhältniss zwischen der wirklichen und geschätzten Entfernung stattfindet".

Die grosse Unsicherheit des Ergebnisses dürfte ihren Grund darin haben, dass die scheinbare Entfernung des Fadens mit einer ganz anders gelegenen Raumstrecke aus der Erinnerung verglichen werden musste.

HELMHOLTZ[1] „hielt dicht vor das Gesicht in die Medianebene ein Blatt steifen Papiers und blickte nach einem vertical herabhängenden Faden. Das Papier verdeckte dem rechten Auge alles, was sich links in einigem Abstande neben dem Faden befand, dem linken Auge, was sich rechts neben dem Faden befand. Näherte er nun von der rechten Seite her einen Bleistift dem Faden, so sah er ersteren nur mit dem rechten Auge, nicht mit beiden. Er versuchte dann mit dem Bleistifte den Faden zu treffen, indem er ihn schnell vorschob. Dann ging aber immer der Bleistift hinter dem Faden vorbei. Oeffnete er die vorher geschlossenen Augen, nachdem er seine Stellung geändert hatte, richtete sie auf den Faden und versuchte dann schnell ihn in der angegebenen Weise zu treffen, so war die Entfernung zwischen Bleistift und Faden gering. Wartete er länger, indem er fortdauernd den Faden fixirte, so wurde der Fehler, immer grösser".

Diese Versuche geben keinen unmittelbaren Aufschluss über die Richtigkeit der Localisirung, sondern beleuchten nur den Grad der Harmonie zwischen der optischen Localisirung des fixirten Punktes und der tactischen Localisirung des Fingers.

Nach einem ähnlichen Principe hat später DONDERS[2] einige messende Versuchsreihen angestellt, jedoch als Object der Localisirung einen leuchtenden Punkt im sonst dunklen Raume benützt. „Der Beobachter befindet sich in einem vollkommen dunklen Kasten, in stehender Haltung, die Stirn unbeweglich gegen zwei Stützpunkte anlehnend, und sieht nach einem in veränderlicher Entfernung hervorgebrachten Blickpunkt, der aus schnell auf einander folgenden, sehr kleinen Inductionsfunken besteht. Nach ein Paar Secunden langer Fixirung hat er mit seinem, mit Kautschuk bekleideten Zeigefinger der rechten Hand den Funken zu treffen. Unmittelbar nach der Bewegung wird das Tageslicht hereingelassen und der Abstand des Lichtpunktes und der Fingerspitze vom Auge in Millimetern abgelesen. Um alle aus der Stärke des Lichtpunktes hervorgehende An-

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 650.
2 DONDERS, Arch. f. Ophthalmologie XVII. 2. S. 55.

deutung über die Entfernung auszuschliessen, wird die secundäre Rolle ab und zu verschoben. Beständig aber wird der Lichtpunkt so schwach gehalten, dass selbst die Electroden und was sonst noch in dem Kasten zugegen ist, vollkommen unsichtbar bleiben".

Die Entfernungen des Fadens variirten in 50 Versuchen zwischen 60 und 610 mm., 34 mal wurde die Entfernung über-, 12 mal unterschätzt, 4 mal richtig angegeben. Die beiden grössten rohen Fehler betrugen + 35 mm. und — 34 mm. Der constante Fehler betrug nahezu + 7 mm., der mittle reine Fehler 10,6 mm.

Von diesen Versuchen gilt dasselbe wie von denen von Helmholtz; sie geben keinen unmittelbaren Aufschluss über den Grad der Richtigkeit der Localisirung, sondern gestatten vorläufig nur einen ungefähren Schluss auf dieselbe.

In einer anderen Versuchsreihe blieb der Kasten offen, so dass alle Gegenstände erleuchtet waren. Der Untersuchende öffnete die Augen, sah die Electroden, schätzte die Entfernung, schloss die Augen wieder und hatte nun mit dem Finger den Punkt zwischen den Electroden zu treffen. Die Entfernungen variirten in 21 Versuchen zwischen 80 und 630 mm., die grössten rohen Fehler betrugen + 30 und — 12 mm.; 15 mal wurde die Entfernung über-, 5 mal unterschätzt, 1 mal richtig angegeben. Der constante Fehler war 8,5 mm., der grösste variable Fehler 21,5 mm., der mittle variable Fehler 9,8 mm.

Mit wachsender Ferne des Blickpunktes wird die Localisirung des Kernpunktes zunehmend unsicher. Der constante Fehler ist beim Fixiren sehr ferner Objecte immer negativ, die scheinbare Entfernung des fixirten Punktes zu klein, was am auffälligsten bei den Gestirnen, bei nächtlichen Feuerscheinen, entfernten Laternen, Leuchtthürmen u. s. w. hervortritt. Selbst eine richtige Schätzung der Entfernung ändert an dem Zunahsehen ferner Fixationspunkte nichts.

Unter abnormen Bedingungen des Sehens kann der Kernpunkt weit abliegen von dem Orte, der ihm nach der Lage des Blickpunktes zukommen würde. Bei allen oben beschriebenen haploskopischen Versuchen lag der Blickpunkt meist in sehr grosser Ferne, der Kernpunkt des Sehraums aber relativ nahe, etwa in der Entfernung, in welcher sich die beiden Fixationspunkte befanden, oder wenigstens nicht viel weiter. Man kann den beiden Fixationspunkten beim haploskopischen Versuch eine Distanz geben, welche die Augendistanz übertrifft. Dann existirt gar kein Blickpunkt mehr, weil die Gesichtslinien divergiren; einen Kernpunkt des Sehraums aber giebt es nach wie vor.

Es wäre schliesslich zu erörtern, wodurch diese im Allgemeinen ziemlich richtige Localisirung des Kernpunktes möglich wird, wenn uns keinerlei andere, aus der Erfahrung stammende Behelfe über die Lage des Blickpunktes Aufschluss geben. Dies soll im zweiten Abschnitt bei Besprechung der Augenbewegungen untersucht werden.

II. Die Localisirung der mittlen Längs- und Querebene.

Die mittle Längsebene des Sehraums fällt, wie schon wiederholt erwähnt wurde, bei aufrechter Stellung des Körpers und Kopfes und symmetrischer Augenstellung mit der scheinbaren Medianebene zusammen, und ihre Abweichungen von der wirklichen Medianebene sind unter diesen Umständen meist sehr gering.

Man stelle sich aufrecht vor eine horizontale weite Röhre, durch welche hindurch man mit fixirtem Kopfe nach einem feinen Faden oder Draht blickt, der in der Höhe der Augen ein Merkzeichen trägt, das in der wirklichen Medianebene liegt und als Blickpunkt dient. Der Draht oder Faden sei in einer, der Frontalebene parallelen Ebene um das Merkzeichen drehbar, zu welchem Zwecke der Faden über einen grossen Reifen gespannt ist. Den Hintergrund bildet eine gleichfarbige Wand. Lässt man den anfangs zur Medianebene geneigten Faden so lange drehen, bis er in der scheinbaren Medianebene gesehen wird, so weicht seine wirkliche Lage nicht irgend erheblich von der wirklichen Medianebene ab.

Mittels derselben Vorrichtung kann man sich überzeugen, dass bei aufrechter symmetrischer Körper- und Kopfhaltung und horizontaler Blickebene auch die quere Mittelebene des Sehraums sehr angenähert mit der horizontalen Hauptebene des wirklichen Raumes, die hier zugleich Blickebene ist, zusammenfällt. Man lässt zu diesem Zwecke den Faden so lange um das fixirte Merkzeichen drehen, bis er horizontal erscheint[1]; dann ist er auch wirklich angenähert horizontal.

III. Die Localisirung der Kernfläche.

Wenn die mittle Längs- und die mittle Querebene des Sehraums mit der wirklichen Medianebene und der horizontalen Hauptebene des Sehraums zusammenfällt, so ist damit auch schon bestimmt, dass die Kernfläche symmetrisch zur wirklichen Medianebene liegen muss;

---

1 Wenn der Faden zu nahe ist, kann er doppelt gesehen werden, weil bei horizontal convergirenden Gesichtslinien und Primärstellung des Kopfes die queren Mittelschnitte der Netzhäute nicht genau in der Blickebene liegen.

denn die Längsmittellinie der Kernfläche gehört der mittlen Längsebene des Sehraums an und ebenso ihre quere Mittellinie der mittlen Querebene des Sehraums.

Es fragt sich nun zunächst, ob die Längsmittellinie der Kernfläche so localisirt wird, dass sie mit der entsprechenden Aussenlinie d. i. mit der Geraden des Punkthoropters zusammenfällt; ob also, wenn diese Gerade z. B. vertical liegt, sie auch vertical gesehen wird, oder wenn sie zur horizontalen Hauptebene geneigt ist, auch entsprechend geneigt erscheint.

Nach Hering[1] wird bei primärer Kopfstellung und horizontaler symmetrischer Convergenz eine in der wirklichen Medianebene liegende Gerade bei Ausschluss aller anderweiten Motive der Localisirung nur dann vertical gesehen, wenn sie mit ihrem oberen Ende etwas ferner liegt, als mit dem unteren, und zwar um so mehr, je näher sie überhaupt ist; er erklärt die Täuschung daraus, dass bei ihm mit zunehmender Convergenz die Divergenz der mittlen Längsschnitte nach oben wächst und die Gerade des Punkthoropters sich entsprechend mit dem oberen Ende von der Frontalebene wegneigt.

Nach Helmholtz[2] aber ist unter den genannten Bedingungen nur eine wirklich verticale Gerade auch die scheinbar Verticale in der Medianebene.

Zur Untersuchung benützten die Genannten Fäden, welche innerhalb der Medianebene beliebig zum Horizonte geneigt werden konnten. Der Beobachter blickte durch eine Röhre, welche ihm das obere und untere Fadenende verdeckte und ausser dem Faden nur den gleichfarbigen Hintergrund sichtbar machte. Der Faden muss möglichst fein sein, damit nicht eine etwaige perspectivische Verbreiterung seines näheren Theils im Vergleich zum ferneren seine Lage erkennen lässt.[3]

Wird unter Beibehaltung der horizontal symmetrischen Convergenz der Kopf stark zurückgeneigt, was beim gewöhnlichen Sehen nie geschieht und also hier künstlich erzwungen ist, so drehen sich dabei die mittlen Querschnitte erheblich aus der horizontalen Blickebene heraus und convergiren nach unten; entsprechend ändern auch die mittlen Längsschnitte der Netzhäute ihre Lage und werden convergent nach oben. Eine in der Medianebene befindliche nahe Ge-

1 Hering, Beiträge zur Physiologie V. S. 297. 1864 und Arch. f. Anat. u. Physiol. 1865. S. 83.

2 Helmholtz, Physiol. Optik 1868. S. 661.

3 Besser wäre es, eine grosse ebene Glastafel zur einen Hälfte mit schwarzem, zur anderen mit weissem Papiere zu überziehen und die Grenzlinie beider statt des Fadens zu benutzen.

rade, welche jetzt vertical erscheinen soll, muss nach HERING mit dem oberen Ende soweit stirnwärts geneigt werden, dass sie annähernd in den Punkthoropter zu liegen kommt und sich auf den mittlen Längsschnitten abbildet. Nach HELMHOLTZ, welcher diese Versuche wiederholte, muss die Gerade zwar auch in der erwähnten Weise geneigt werden, aber soweit, dass sie sich auf denjenigen Netzhautmeridianen abbildet, welche bei parallel und horizontal geradeaus gestellten Gesichtslinien und gleicher Kopfhaltung wirklich vertical sein würden. Dies sind aber für Augen mit Netzhautincongruenz nicht genau die mittlen Längsschnitte. Die Differenz der beiderseitigen Angaben ist also nicht wesentlich. Ganz analoge Ergebnisse erhielten beide Beobachter unter sonst denselben Bedingungen bei Vorwärtsneigung des Kopfes. Die in der Medianebene gelegene Gerade musste mit dem oberen Ende vom Gesicht weg geneigt werden, um vertical zu erscheinen.

HELMHOLTZ[1] hat auch für unsymmetrische horizontale Parallel- und Convergenzstellungen der Gesichtslinien bei vorwärts und rückwärts geneigtem Kopfe die wirkliche Lage derjenigen binocular fixirten Linien zu bestimmen versucht, welche ihm vertical erschienen. Er kam zu dem Ergebniss, dass unter diesen Umständen diejenigen Linien vertical erschienen, welche sich abbildeten auf solchen Meridianen der Netzhäute, welche bei derselben Kopfhaltung wirklich vertical sein würden, wenn die Gesichtslinien nicht convergent sondern zur Halbirungslinie des wirklichen Convergenzwinkels parallel ständen. Dies würden im Allgemeinen andere Meridiane sein als die mittlen Längsschnitte. Uebrigens ist es schwer und sehr anstrengend bei vorwärts oder rückwärts geneigtem Kopf und unsymmetrischer Convergenz der Gesichtslinien die Blickebene horizontal zu halten; man giebt derselben dabei unwillkürlich durch Drehen des Kopfes eine Neigung zum Horizonte.

IV. Die Localisirung in die Kernfläche.

Durch die Lage der Längsmittellinie der Kernfläche ist nun die relative Lage dieser Fläche zur wirklichen Medianebene und horizontalen Hauptebene vollends bestimmt. Wir sahen, dass jene Mittellinie ziemlich genau in die wirkliche Medianebene verlegt wird; betreffs ihrer Neigung zum Horizonte fanden wir eine Differenz in den Angaben der Beobachter, die aber praktisch genommen nicht ins Gewicht fällt. Jetzt fragt sich nur noch, in wieweit die Form der Kernfläche der Anordnung derjenigen wirklichen Aussendinge entspricht, welche in ihr erscheinen. Von den vielen möglichen Fällen,

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 662.

welche hier in Betracht kommen, sind besonders zwei bisher genauer untersucht worden. Erstens der Fall, wo die in der Kernfläche erscheinenden Aussenpunkte oder Linien im Längshoropter liegen. Dieser Fall ist oben erörtert worden, und wir haben gesehen in wieweit die Form der Kernfläche von der Form der Längshoropterfläche abweichen und damit eine Differenz zwischen wirklicher und scheinbarer Lage des in der Längshoropterfläche Enthaltenen eintreten kann.

Der zweite Fall ist der, wo unbegrenzt gesehene gerade Linien im Meridianhoropter liegen und sich also auf correspondirenden Meridianen abbilden. v. Recklinghausen[1] fand, dass bei symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien gerade Linien, welche in einer senkrecht zur Medianlinie (Halbirungslinie des Convergenzwinkels) stehenden Ebene gelegen sind und durch den Blickpunkt gehen, nur dann auch in einer Ebene erscheinen, wenn die queren Mittelschnitte der Netzhäute in der Blickebene liegen. Diesen Falls nämlich liegt der von den Linien gebildete ebene Stern im Meridianhoropter und bildet sich jede Gerade des Sternes auf correspondirenden Meridianen ab. Sind aber die queren Mittelschnitte zur Blickebene geneigt, was bei horizontaler Blickebene durch starkes Vor- oder Rückwärtsneigen des Kopfes herbeigeführt wird, so ist der Meridianhoropter nicht mehr die zur Medianlinie senkrecht stehende Ebene, sondern eine Kegelfläche (Doppelkegelmantel), deren Mittelpunkt (Spitze) im Blickpunkt liegt[2]; deshalb muss man jetzt die einzelnen Strahlen so weit aus der genannten Ebene herausdrehen, bis sie in diese Kegelfläche zu liegen kommen und sich wieder correspondirend abbilden, wenn anders sie als ein ebener Stern erscheinen sollen. Dies ist also eine weitere Bestätigung des oben aufgestellten Satzes, dass alle unbegrenzt gesehenen Geraden, welche sich correspondirend abbilden, in der Ebene der Kernfläche erscheinen. Ordnet man bei den letzterwähnten Augenstellungen die Geraden nicht in der Kegelfläche des Meridianhoropters an, sondern lässt sie in der zur Medianlinie senkrechten Ebene, so liegen sie zur einen Hälfte jenseits zur andern diesseits des Meridianhoropters, bilden sich daher disparat ab und scheinen entsprechend mit der einen Hälfte jenseits, mit der andern diesseits der Kernfläche zu liegen, als ob sie einer krummen aber geradlinigen Fläche angehörten.

Der hier erörterte Fall von Täuschung über die Lage unbegrenzt gesehener Geraden ist übrigens nach Hering[3] nur einer von unzähligen

1 v. Recklinghausen, Arch. f. Ophthalmologie V. 1. Abth. S. 155. 1859.
2 Siehe oben Capitel III.
3 Hering, Beiträge zur Physiologie IV. S. 236.

möglichen. Insbesondere ist jeder Punkt des Punkthoropters im Allgemeinen der Mittelpunkt einer Kegelfläche zweiten Grades, welche dadurch ausgezeichnet ist, dass jede in ihr gelegene Gerade sich auf correspondirenden Netzhautlinien abbildet und daher, wo sonstige Motive für die Localisirung fehlen, in der ebenen Kernfläche erscheint.

Durch jeden bei gegebener Lage des Blickpunktes beiden Augen sichtbaren Aussenpunkt lässt sich eine bestimmte Gerade legen, welche sich in beiden Augen auf correspondirenden Netzhautlinien abbildet[1] und also ebenfalls in der Kernfläche erscheint.

Jede in der Blickebene liegende Gerade bildet sich, wenn die queren Mittelschnitte der Netzhäute in der Blickebene liegen, auf diesen und also correspondirend ab, und wird daher in der queren Mittellinie der Kernfläche gesehen, wenn alle andern Behelfe zur Lokalisirung fehlen. Ein feiner horizontaler Coconfaden z. B., der genau in der Medianebene verläuft, scheint unter diesen Umständen parallel zur Frontalebene durch den Blickpunkt zu gehen, so dass seine scheinbare Lage mit der wirklichen einen rechten Winkel einschliesst.

Gerade, unbegrenzt gesehene Linien, welche bei der angegebenen Augenstellung horizontal und senkrecht zur Medianebene über oder unter der horizontalen Hauptebene, näher oder ferner als der Blickpunkt liegen, geben zwar disparate Netzhautbilder wie sie in Fig. 24 S. 400 dargestellt wurden, erscheinen aber gleichwohl in der ebenen Kernfläche, weil ihre Bilder keine quere Disparation haben. Betreffs der horizontalen Linien kommen also die gröbsten Unrichtigkeiten der Localisirung vor, wenn anderweite Hülfsmittel für letztere fehlen. Man braucht aber nur, wie MEYER (l. c.) und v. RECKLINGHAUSEN (l. c.) zeigten, einen oder einige Merkpunkte auf den Linien anzubringen, um sie sofort annähernd richtig localisiren zu können.

Wir haben gesehen, was Alles bei Ausschluss anderweiter Motive der Localisirung in der Kernfläche erscheinen kann; theils Objecte, welche in derjenigen Fläche des wirklichen Raumes liegen, mit welcher die Kernfläche des Sehraums zusammenfällt, theils auch ausserhalb dieser Fläche Gelegenes. Meistens aber, und insbesondere wenn die erörterten Fälle von correspondirend abgebildeten unbegrenzten Linien nicht gegeben sind, erscheinen in der Kernfläche nur solche Objecte, welche wirklich ziemlich genau in der entsprechenden Fläche des Aussenraums liegen. Dies ist z. B. der Fall, wenn wir bei horizontal symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien eine mässig entfernte verticale Ebene fixiren, auf welcher verschiedene ebene Figuren sichtbar sind. Wir können dabei unsern Kopf

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 716.

so stellen, dass die mittlen Längsschnitte der Netzhäute vertical liegen und der Längshoropter eine verticale Cylinderfläche ist, welche die Wand in ihrer Längsmittellinie tangirt. Liegt der Blickpunkt nicht zu nahe, so ist die Abweichung der Wandebene von der Längshoropterfläche unbedeutend. Localisiren wir nun den Blickpunkt in die richtige Entfernung, so fällt auch die Kernfläche, wie aus der Erörterung im vorigen Capitel hervorgeht, ebenfalls nahezu mit der Wand zusammen. Für solche einfachste Fälle fragt sich nun, in wieweit die scheinbare Form und Anordnung der Figuren in der Kernfläche der Wirklichkeit entspricht. Wir setzen dabei immer voraus, dass es sich um einfachste Figuren handelt, um gerade Linien oder auf der Wand vertheilte Punkte, von deren wirklicher Lage wir nichts vorwissen. Ferner setzen wir voraus, dass die Grenzlinien der Wand unsichtbar sind, was durch eine vor die Augen gehaltene weite Röhre zu erreichen ist. Diesenfalls gilt nun wieder das, was wir im Capitel II von der Anordnung der Sehdinge im ebenen Sehfelde im Vergleich zur Anordnung der Figuren im ebenen Objectfelde erörtert haben. Die Kernfläche ist jetzt das ebene Sehfeld, dessen Inhalt jedoch hier den Netzhautbildern beider Augen entspricht, während dort nur die Bilder einer Netzhaut in Betracht kamen. Die dort erwähnten Abweichungen der scheinbaren Form und Grösse von der wirklichen kehren hier wieder. Nur die Täuschung in Betreff der horizontalen und verticalen Linien fällt in der Kernfläche weg. Denn wenn auch die wirklich Verticalen oder Horizontalen der Wand sich nicht genau auf den Längs- oder Querschnitten abbilden, so ist doch die Disparation ihrer Bilder zu diesen Netzhautschnitten eine symmetrische und jene Linien erscheinen demnach vertical und horizontal wie sie sind.

Ueber die Richtigkeit der Lokalisirung des ausserhalb der Kernfläche Gelegenen (und einfach Erscheinenden) liegt eine kleine Versuchsreihe von Donders[1] vor, welche nach derselben Methode angestellt wurde, wie die Versuche über die Localisirung des Blickpunktes (s. o. S. 415).

„Während der Lichtpunkt im Kasten in einer festen Entfernung von 300 mm. fixirt wurde, liess man einen einzelnen stärkeren Inductionsfunken überspringen, bald in grösserer, bald in geringerer Entfernung vom Fixirpunkt und mehr oder weniger nach rechts oder links, immer im Bereich der Hände. Der Ort, wo der Funken übersprang, musste nun wieder mit dem Finger angewiesen werden."

1 Donders, Arch. f. Ophthalmologie XVII. 2. S. 59. 1871.

In der von Donders mitgetheilten Versuchstabelle ist nur der Tiefenabstand des seitlichen Funkenortes und des an seinen scheinbaren Ort gebrachten Fingers vom Gesichte angegeben; der Abstand von der Medianebene fehlt. Es wurden 29 Versuche gemacht; der grösste Tiefenabstand des seitlichen Funkens vom Gesichte betrug 600 mm., der kleinste 210 mm., der mittle 379,7 mm. Die grössten rohen Fehler waren + 120 und — 68, der constante Fehler betrug + 8,7 mm., der mittle reine Fehler beiläufig 34 mm.

Donders bemerkte noch, dass, wenn der Funke stark seitlich übersprang und zwar ungefähr in gleicher Entfernung mit dem Blickpunkte, die Entfernung regelmässig zu gross geschätzt wurde, und führt dies als Bestätigung des oben dargelegten Satzes an, nach welchem ein seitlich in gleicher Entfernung mit dem Blickpunkte gelegener Punkt ferner als der letztere erscheint, weil er jenseits des Längshoropters liegt.

Einen directen Aufschluss über die Richtigkeit der Localisirung geben auch diese Versuche nicht.

Ueberblicken wir das Ergebniss unserer Untersuchung über die Richtigkeit der Localisirung des mit unbewegtem Blicke binocular und einfach Gesehenen, so ergiebt sich, dass bei primärer Kopfstellung und symmetrisch horizontaler Convergenz der Gesichtslinien gröbere Fehler nur in Betreff derjenigen Linien vorkommen, welche in ihrem Verlauf keine Merkpunkte haben und sich entweder auf correspondirenden Netzhautlinien oder wenigstens ohne quere Disparation abbilden. Einzelne Punkte dagegen oder Linien mit Merkpunkten werden, wie wir fanden, ziemlich richtig localisirt, und zwar um so richtiger, je näher sie dem Blickpunkte beziehungsweise der Fläche des Längshoropters liegen.

Wir fanden, dass der Kernpunkt mit dem Blickpunkte, die mittle Längsebene des Sehraums mit der wirklichen Medianebene, die mittle Querebene mit der wirklichen horizontalen Hauptebene ziemlich genau zusammenfällt. Betreffs der Kernfläche sahen wir, dass, wenn correspondirend abgebildete Linien ohne Merkpunkte ausgeschlossen sind, nur das in ihr erscheint, was in der Fläche des Längshoropters liegt, und dass diese wenigstens beim Nahesehen nahezu da liegt, wo sie als Kernfläche erscheint. Trotz der vielen Täuschungen also, welche, wie wir sahen, möglich sind, entspricht doch beim Nahesehen der scheinbare Ort der Dinge im Allgemeinen wenigstens annähernd ihrem wirklichen, selbst wenn jedes anderweite Hülfsmittel für die Localisirung und insbesondere die Mithülfe der Augenbewegungen ausgeschlossen ist.

Wir hätten schliesslich noch die Aufgabe, die Richtigkeit der Localisirung bei andern Stellungen des Auges und des Kopfes zu erörtern. Dieselbe ist jedoch bisher nicht systematisch untersucht worden. Einzelnes ist darüber oben beiläufig bemerkt worden, Anderes wird noch im zweiten Abschnitte zu erwähnen sein.

ACHTES CAPITEL.

Das Doppelsehen des Einfachen und das Einfachsehen des Doppelten.

Wenn die Disparation der beiden von einem Punkte oder einer Linie oder sonst welchem kleinen Objecte entworfenen Netzhautbilder eine gewisse Grösse überschreitet, so sehen wir, wie schon S. 397 erwähnt wurde, das einfache Aussenobject doppelt. Das diesseits der Fläche des Längshoropters Gelegene gibt ungleichseitige oder gekreuzte, das jenseits Gelegene gleichseitige oder ungekreuzte Doppelbilder. Der Längshoropterfläche angehörende Punkte geben Doppelbilder von reiner Längsdisparation, welche bei aufrechter Kopfhaltung und symmetrischer Augenstellung übereinander erscheinen; dem Querhoropter angehörende Punkte geben Doppelbilder von reiner Querdisparation, welche unter den erwähnten Umständen nebeneinander erscheinen. Ausserhalb der genannten beiden Horopterflächen liegende Punkte geben Doppelbilder, die schräg gegen einander verschoben sind. Gehören die Bilder eines Doppelbildes beide den linken oder beide den rechten Netzhauthälften an, so erscheinen beide Trugbilder auf derselben Seite des Sehraumes oder des Sehfeldes, also beide nach rechts oder nach links von der mittlen Längsebene des Sehraumes oder der mittlen Längslinie des Sehfeldes; sie heissen dann einseitige, andernfalls aber doppelseitige Doppelbilder.

Fig. 27 stelle die Blickebene dar, während die queren Mittelschnitte der Netzhaut in derselben liegen, f sei der Blickpunkt, $k' f k''$ der Müller'sche Horopterkreis. Die von ihm eingeschlossene Fläche enthält Punkte der Blickebene, welche ungleichseitige oder gekreuzte Doppelbilder ($|r\,l$, $r|l$ und $r\,l|$) geben; ausserhalb des Kreises gelegene Punkte geben gleichseitige oder ungekreuzte ($|l\,r$,

$l|r$ und $lr|$). Die zwischen den beiden Gesichtslinien ($k' g$ und $k'' g'$) gelegenen Abschnitte der Blickebene $k' f k''$ und $g' f g$ enthalten Punkte, welche doppelseitige Doppelbilder erzeugen ($r|l$ und $l|r$). Ausserhalb dieser Abschnitte gelegene Punkte geben einseitige Doppelbilder.

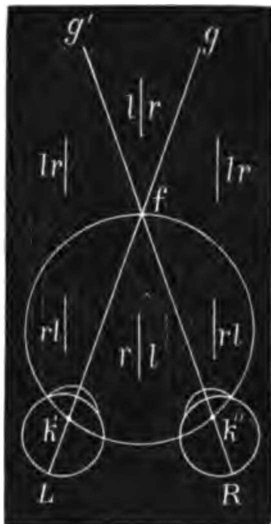


Fig. 27.

Für gewöhnlich sieht man keine Doppelbilder und vielen Laien sind dieselben unbekannt, obwohl fast immer Objecte da sind, welche sich auf sehr disparaten Stellen abbilden. Man fasst beim gewöhnlichen Sehen mit wanderndem Blicke nur das genauer auf, was in der Gegend des Blickpunktes liegt und daher nur Bilder von kleiner Disparation geben kann. Sobald etwas excentrisch im Sehraume Erscheinendes unsere Aufmerksamkeit erweckt, richten wir auch sogleich die Gesichtslinien auf das entsprechende Aussenobject, sodass der Blickpunkt auf dasselbe zu liegen kommt. Will man Doppelbilder sehen lernen, so muss man einen Punkt fest fixiren, und dann kleine vom Hintergrunde gut abstechende Gegenstände nahe der Medianebene jenseits oder diesseits des Blickpunktes anbringen. Fixirt man z. B. einen nahe vor's Gesicht gehaltenen Finger und hält 1—2 dm. dahinter einen Bleistift, so sieht man denselben in gleichseitigen Doppelbildern. Bringt man aber an die Stelle des Bleistiftes ein grösseres Blatt Papier, so sieht man dasselbe einfach, weil seine beiden Bilder sich theilweise decken, und nur bei genauerer Beobachtung bemerkt man, dass seine Ränder doppelt erscheinen.

Correspondirend mit der Netzhautstelle, welche das dem einen Trugbilde eines Doppelbildes entsprechende Netzhautbild trägt, liegt auf der andern Netzhaut das Bild irgend eines andern Objectes. Ist letzteres eine gleichfarbige Fläche, so tritt das Bild derselben nicht leicht in Wettstreit mit dem erst erwähnten Trugbilde. Ist es aber ein Gegenstand, der deutliche Conturen enthält, so zeigt sich der Wettstreit der Conturen. Fixirt man z. B. ein Tapetenmuster der Wand und bringt in die Richtung der einen Gesichtslinie einen Finger, so erscheint letzterer in ungleichseitigen Doppelbildern, welche anfangs das correspondirend abgebildete Tapetenmuster unterdrücken können. Achtet man aber länger und genauer auf das in der Median-

ebene gelegene Fingertrugbild, so sieht man das Tapetenmuster gleichsam durch das Fingerbild durchscheinen. Die Umrisse des Fingerbildes bleiben meist im Wettstreite siegreich; im Innern desselben aber siegen die Conturen des Tapetenmusters. Zwischendurch verdrängt letzteres auch einmal das ganze Trugbild des Fingers. Da die Augen für die Entfernung der Tapete und nicht des Fingers accommodirt sind, so sind die Conturen des Tapetenbildes scharf, die des Fingerbildes verwaschen und deshalb gegen erstere im Nachtheil beim Wettstreite. Wenn Jemand nun überdies dem Tapetenmuster, welches er fixirt, seine Aufmerksamkeit zuwendet, so entgeht ihm leicht das Trugbild des Fingers ganz, obwohl es sich auf der Stelle des directen Sehens abbildet. Das andere Trugbild des Fingers liegt sehr seitwärts und wird um so leichter übersehen.

Die Richtung, in welcher die Trugbilder erscheinen, ist unabänderlich durch das Gesetz der identischen Sehrichtungen gegeben. Man braucht sich nur beide wirkliche Netzhautbilder auf die Netzhaut des imaginären Einauges in der oben erörterten Weise übertragen zu denken, so dass alle Deckstellen zusammenfallen, und die Richtungslinien des Einauges als die Sehrichtungslinien gelten zu lassen: so hat man für jedes Trugbild die zugehörige Sehrichtung. Das Einauge oder das Centrum der Sehrichtungen muss man sich dabei in die Medianebene des Kopfes, oder wenn man sich durch einseitigen Gebrauch eines Auges oder aus andern Gründen (s. S. 391) eine andere Art der Localisirung angewöhnt hat, entsprechend seitlich in den Kopf verlegt denken. Auf die Lage des Centrums der Sehrichtungen kommt hier vorerst nicht viel an; wenn es auch eine anomale Lage hat, so bleibt doch dabei das System der Sehrichtungslinien in sich ganz unverändert, und innerhalb dieses Systems sind den Trugbildern ihre Sehrichtungslinien angewiesen.

Wenn man einem Laien die Aufgabe stellt, ein entferntes Object zu fixiren und von der rechten Seite her den rechten Zeigefinger gerade zwischen sich und das fixirte Object d. h. in die Medianebene zu bringen, so wird er ihn stets in die rechte Gesichtslinie statt in die Medianebene bringen; soll er den linken Zeigefinger von links her in die Medianebene bringen, so bringt er ihn in die linke Gesichtslinie. Der Finger erscheint dabei in ungekreuzten Doppelbildern; doch muss man Laien meist erst darauf aufmerksam machen, dass ausser dem scheinbar in der Medianebene liegenden Finger noch ein zweiter seitwärts zu sehen ist; denn wegen seiner excentrischen Lage wird dieses zweite Fingertrugbild von Laien meist übersehen. Fig. 28 versinnlicht den Versuch.

In *b* liegt der Blickpunkt, in *a* ein rechts davon gelegenes Object, in *d* der Finger auf der Gesichtslinie *d b* des rechten und der Richtungslinie *d a* des linken Auges; *w* ist das Centrum der Sehrichtungen, $w\beta$ die Hauptsehrichtung, auf welcher das eine Trugbild des Fingers in δ' und dahinter das fixirte Object in β erscheint. Das zweite Fingertrugbild erscheint in δ und dahinter in α das ebenfalls indirect gesehene Object *a*.

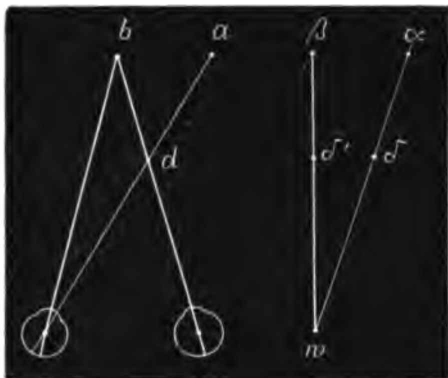


Fig. 28.

Mit der Linie oder Richtung, in welcher ein Trugbild oder Halbbild im Sehraum erscheint, ist noch nicht sein Ort auf dieser Linie oder seine scheinbare Ferne in dieser Richtung gegeben. Die Localisirung eines Trugbildes innerhalb der ihm zukommenden Sehrichtungslinie hat meist etwas Unsicheres und Unbestimmtes, um so mehr, je anhaltender man es unverrückten Blickes beachtet. Die im zweiten Abschnitte zu erörternden Erfahrungsmotive für die Localisirung werden auch für die scheinbare Ferne der Trugbilder mitbestimmend. Bringt man z. B. beide Zeigefinger in verschiedener Entfernung vom Gesichte in die Medianebene und fixirt den einen, so sieht man die Trugbilder des andern dauernd in einer Entfernung, welche der des wirklichen Fingers nahezu entspricht. Dasselbe gilt von anderen, uns aus Erfahrung genau bekannten Dingen, wie Hering [1] gegenüber der älteren Annahme, dass die Doppelbilder stets in gleicher Entfernung mit dem fixirten Objecte erscheinen, zuerst nachdrücklich betont hat. Fehlen anderweite Motive der Localisirung, so werden die Doppelbilder wenigstens im Beginne ihres Erscheinens nach denselben Gesetzen localisirt, welchen die Localisirung der disparat abgebildeten aber einfach gesehenen Objecte folgt (s. Cap. VI).

Wenn man eine kleine Lichtquelle sich auf einer Biconvexlinse spiegeln lässt, so sieht man zwei Spiegelbilder, deren eines näher liegt als das andere. v. Recklinghausen [2] benützte als Lichtquelle einen elektrischen Funken und sah dabei deutlich den einen Funken näher als den anderen, auch wenn der eine in Doppelbildern er-

1 Hering, Beiträge zur Physiologie II. § 57. 1862.
2 v. Recklinghausen, Ann. d. Physik CXIV. S. 170.

schien, weil seine Netzhautbilder zu disparat lagen, um ein einfaches Anschauungsbild auszulösen. HELMHOLTZ[1] liess einen Punkt der Wand in einer Entfernung von einigen Fussen fixiren und dabei ein Blatt steifen Papieres so vor den untern Theil des Gesichts halten, dass sein oberer Rand einige Zoll vor den Augen in ungefähr derselben Höhe lag. Der Papierschirm verdeckte dabei alle Gegenstände, die vor dem Beobachter unterhalb seiner Blickebene lagen. Schob er nun von unten her einen geraden Draht in solcher Entfernung in die Höhe, dass er dem Beobachter in Doppelbildern sichtbar wurde, so erhielt derselbe sofort eine Vorstellung von der Entfernung des Drahtes, auch wenn er die Augen ganz unbewegt gelassen und den Draht nicht einfach gesehen hatte. Liess er den Beobachter nach dem verdeckten Theile des Drahtes greifen, wobei ihm die Hand selbst unsichtbar blieb, so traf er den Draht sogleich beim ersten Versuche. Um nicht aus der Dicke des Drahtes auf dessen Entfernung schliessen zu können, benütze man abwechselnd Drähte von verschiedener und unbekannter Stärke. Eine Verschmelzung disparater Bilder ist also gar nicht unbedingt nöthig, um binoculare Tiefenwahrnehmungen zu machen, vielmehr werden, auch wenn alle andern Motive der Localisirung fehlen, gekreuzte Doppelbilder vor, ungekreuzte hinter die Kernfläche localisirt, um so mehr, je grösser ihre Disparation ist. Bei haploskopischer Vereinigung einfacher Linearzeichnungen, welche zwei Projectionen eines nach der Tiefe sich erstreckenden Gegenstandes darstellen und nach der S. 393 gegebenen Regel entworfen sind, überzeugt man sich leicht, dass auch die nicht einfach gesehenen Theile der Doppelfigur gleichwohl diesseits oder jenseits der Kernfläche erscheinen. Um das Einfachsehen der disparaten Theile der beiden Bilder zu verhindern, giebt man beiden Zeichnungen verschiedene Farben, wie dies z. B. in der Fig. 29[2] der Fall ist.

Nur muss man sich dabei dem unmittelbaren Eindrucke hingeben und darf nicht bei länger anhaltender fester Fixirung über die Lage der beiden zusammengehörigen Trugbilder reflectiren: dann findet man sie bald unbestimmt. Das geschieht um so leichter, je disparater die beiden Halbbilder liegen. Hieraus erklärt sich die ältere irrige Annahme, nach welcher Doppelbilder stets in derselben Entfernung wie der fixirte Punkt erscheinen sollten. Gerade bei den haploskopischen Versuchen heften sich, wenn man Zeichnungen

---

1 HELMHOLTZ, Arch. f. Ophthalmologie X. 1. S. 28. 1864.
2 Entnommen aus HELMHOLTZ's Physiol. Optik. DOVE (Farbenlehre 1853) hat zuerst derartige Figuren zur Demonstration des binocularen Glanzes angegeben.

auf Papier anwendet, die Doppelbilder leicht an die der Papierfläche entsprechende Kernfläche, weil man weiss, dass die Zeichnungen auf dem Papier liegen. Besser eignen sich zum Versuche auf Glas photographirte Projectionen, am Besten wirkliche Aussen-

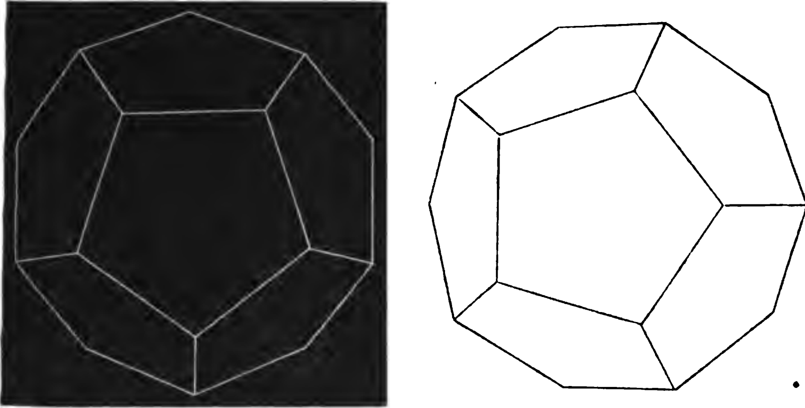


Fig. 29.

dinge, über deren Grösse und Ort man nichts vorweiss und welche man plötzlich in den binocularen Gesichtsraum vor oder hinter den Blickpunkt bringen lässt. Bei dem S. 408 beschriebenen Fallversuch sieht der geübte Beobachter die fallende Kugel, wenn ihre Fallbahn weit vom Blickpunkt nach vorn oder hinten abliegt, öfters doppelt. besonders wenn die Kugel gross und von einer Farbe ist, die stark vom Hintergrunde absticht. Gleichwohl sieht er die Doppelbilder vor oder hinter der Kernfläche. van der Meulen und van Dooremaal[1] haben sogar gefunden, dass, wenn dem einen Auge nur die obere, dem andern nur die untere Hälfte der Fallbahn sichtbar ist, man doch erkennt, ob die Kugel näher oder ferner als der Blickpunkt herabgefallen ist.

Es wurde schon im I. und IV. Capitel erwähnt, dass man vor Einführung der Substitutionsmethode das Doppel- oder Einfachsehen kleiner Objecte als Kriterium dafür gebrauchte, ob das Object im Horopter lag oder nicht, und auf diese Weise die Anordnung der Deckstellen zu bestimmen suchte. Bei der nöthigen Uebung im festen Fixiren und im Erkennen der Doppelbilder giebt diese Methode immerhin brauchbare Annäherungswerthe. Fixirt man, während die mittlen Querschnitte in der Blickebene liegen, einen nahen

---

1 van der Meulen u. van Dooremaal, Arch. f. Ophthalmologie XIX. 1. S. 137. 1873.

in der Medianebene gelegenen Punkt, und bewegt z. B. einen glänzenden Stecknadelkopf innerhalb der Blickebene in einer der Medianebene parallelen Bahn vom Gesichte weg, so erscheint er anfangs in ungleichseitigen Doppelbildern, wird in der Nähe des Horopterkreises einfach und zerfällt darüber hinaus wieder in gleichseitige Doppelbilder. Da aber seine Doppelbilder schon verschmelzen, noch ehe er genau im Horopterkreise liegt, und noch verschmolzen bleiben, wenn er bereits etwas darüber hinaus gelangt ist, so ist die Bestimmung ungenau.[1]

In dieser und ähnlicher Weise haben A. PRÉVOST[2], MEISSNER[3] und neuerdings wieder SCHÖN[4] den Horopter empirisch zu bestimmen versucht.

Der Letztere experimentirte mit Lichtflammen und giebt an, dass sich der Längshoropter und damit die Correspondenz der Netzhäute allseitig bis an die Grenzen des binocularen Gesichtsraumes nachweisen lasse, wenn man nur hinreichend helle und vom Grunde genügend abstechende Objecte benutze, was SCHOELER[5] nicht gethan und deshalb für die peripheren Theile des Gesichtsraumes so unsichere Ergebnisse gewonnen habe.

MEISSNER hat bei derartigen Versuchen auch zuerst auf die gegenseitige Neigung der Doppelbilder einer geraden Linie geachtet und dieselbe zur Beurtheilung der Lage correspondirender Netzhautmeridiane benützt, eine Methode, die später in verbesserter Weise zur Untersuchung der Augenstellungen vielfach angewandt worden ist.

Sehr häufig ist der Fall, dass von einem Aussendinge nur ein Trugbild gesehen wird, entweder weil das andere sehr excentrisch liegt und deshalb gar nicht beachtet wird, oder weil das andere im Wettstreite unterliegt oder endlich, weil trotz binocularem Sehen der entsprechende Gegenstand nur unocular gesehen wird. Letzteres ist der Fall, wenn ein ferneres Object dem einen Auge durch ein näheres verdeckt wird, während es dem andern Auge sichtbar bleibt, oder wenn das Object ausserhalb des binocularen Gesichtsraumes liegt und nur einem der beiden seitlichen unocularen Theilen des Gesichtsraumes angehört.

SCHÖN[6] giebt von den einseitigen Doppelbildern an, dass das Trugbild desjenigen Auges, auf dessen Seite sich auch das doppelterscheinende Object befindet, gegenüber dem andern fast immer im Vortheil sei und vor-

---

1 Unvergleichlich genauer wird sie, wie wir sahen, wenn man nicht das Einfachsehen zum Merkmal der Lage im Horopter macht, sondern die scheinbare Entfernung verglichen mit der des fixirten Punktes (siehe Cap. VI. S. 402).

2 A. PRÉVOST, Sur la théorie de la vision binoculaire p. 20. Genève 1843.

3 MEISSNER, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1843.

4 SCHÖN, Arch. f. Ophthalmologie XXIV. 1. S. 51. 1878.

5 SCHOELER, siehe oben S. 364.

6 SCHÖN, Arch. f. Ophthalmologie XXII. 4. S. 31 und XXIV. 1. S. 27.

wiegend beachtet werde. Er erklärt dies aus der verschiedenen Erregbarkeit der verschiedenen Netzhauttheile und insbesondere daraus, dass die Erregbarkeit auf dem temporalen Theile der Netzhaut rascher vom Centrum nach der Peripherie abnehme als auf dem nasalen.

Viel seltener als das Doppelsehen des wirklich Einfachen ist das Einfachsehen des wirklich Doppelten, wenn nicht letzteres wie bei den haploskopischen Versuchen absichtlich herbeigeführt wird. Blickt man durch ein enges Drahtgitter oder das Geflecht eines Rohrstuhles nach einem dahinter gelegenen Gegenstand, so empfindet man Unsicherheit und Unbehagen, solange nicht beide Netzhäute correspondirend liegende Bilder des Gitters empfangen, welchenfalls aber je zwei wirklich verschiedene Maschen des Gitters haploskopisch verschmolzen werden. Hierbei kann, wie H. Meyer[1] zeigte, das Gitter, statt an seinem wirklichen Orte, in der Entfernung des betrachteten Objectes erscheinen. Hält ein im Doppelsehen nicht geübter Beobachter, während er in die Ferne blickt, in jede Gesichtslinie eine verticale Stricknadel, so verschmelzen ihm ihre beiden auf den mittlen Längsschnitten liegenden Bilder haploskopisch und er glaubt eine einzige Nadel in der Medianebene zu sehen. Der Geübte erkennt freilich rechts und links noch ein Trugbild der Nadeln. Denn jede derselben giebt zwei gekreuzte Trugbilder, da aber das linke Trugbild der rechten und das rechte der linken Nadel an derselben Stelle des Sehraumes zu erscheinen haben, so verschmelzen sie zu einem Sehdinge, das in der Medianebene erscheint.

Solche durch Zusammenfallen zweier nicht zusammengehöriger Trugbilder entstehende Sehdinge werden je nach den Umständen entweder in eine Entfernung localisirt, die den beiden zugehörigen wirklichen Dingen annähernd entspricht oder aber in die Entfernung, welche eben der Blickpunkt hat. Drähte oder Fäden z. B. sieht man bei dem eben beschriebenen Versuch manchmal in grosser Entfernung wie dicke Stangen oder Taue. Bringt man dagegen beiderseits einen Zeigefinger auf je eine der parallel liegenden Gesichtslinien, so erscheint das aus der Verschmelzung der beiden inneren Trugbilder entstandene Bild des Fingers ungefähr in der Entfernung der beiden wirklichen Finger. Legt man auf den Tisch zwei gleiche Münzen oder Briefmarken mit einem gegenseitigen queren Abstande, der dem der Augen gleich ist, und richtet jede Gesichtslinie auf die Münze ihrer Seite, so sieht man drei Münzen auf dem Tische, deren mittle aus der Verschmelzung der beiden Trugbilder entstanden ist. Aber diese Münze erscheint ebensowenig als der Tisch in jener grossen

1 H. Meyer, Arch. f. physiol. Heilk. I. S. 316. 1862.

Entfernung, in welcher der Blickpunkt liegt. Richtet man jedoch die linke Gesichtslinie auf die rechte, die rechte auf die linke Münze, so dass der Blickpunkt in der Mitte zwischen Augen und Tisch liegt, so kann man eine kleine Münze in der Gegend des Blickpunktes gleichsam in der Luft schweben sehen, wobei der Tisch entweder an seiner alten Stelle bleibt oder mit heranrückt; oder aber man sieht wieder alle drei Münzen auf dem Tische, ohne dass derselbe näher gerückt scheint. Je nachdem die Localisirung nach der Dimension der Tiefe mehr durch die Lage des Blickpunktes oder durch andere Motive bestimmt wird, tritt die eine oder die andere Art der Auslegung ein (vergl. Abschnitt II). —

Es sind von VOLKMANN[1] nach der haploskopischen Methode Messungen der grössten Disparation gemacht worden, bei welcher zwei gleiche aber disparate Netzhautbilder von Linien oder Punkten noch einfach gesehen werden. Er bediente sich dabei eines als Tachistoskop[2] bezeichneten Apparates. Ein der Frontalebene des Beobachters paralleler Schirm verdeckt anfangs die Doppelzeichnung. Lässt man den Schirm aber herabfallen, so wird durch einen Ausschnitt desselben die Zeichnung einen Augenblick sichtbar, um sofort wieder verdeckt zu werden. Schon oben wurde erwähnt, dass die Grösse der zum Doppelsehen nöthigen Disparation sehr von der Uebung im festen Fixiren und indirecten Sehen abhängt. Insbesondere wird, wie sich auch bei VOLKMANN zeigte, durch die auf das Unterscheiden disparater Bilder gerichtete Uebung das Vermögen zum Doppelsehen derselben sehr vergrössert. Wer dasselbe erworben hat, vermag manche projectivische Doppelzeichnung, die er früher leicht in allen Theilen einfach sah, nachher nicht mehr durchaus zu verschmelzen. Das Ergebniss derartiger Messungen hängt also wesentlich von individuellen Bedingungen ab. Längs disparate Bilder werden nach VOLKMANN leichter doppelt gesehen, als Bilder von gleich grosser querer Disparation. Dasselbe fand DONDERS[3], welcher bei Beleuchtung mit dem electrischen Funken experimentirte. Die instantane Beleuchtung, wie überhaupt die nur flüchtige Beobachtung begünstigt das Einfachsehen disparater Bilder. Bei dem S. 408 beschriebenen Fallversuche sehen Ungeübte die fallende Kugel noch einfach, wenn die Disparation der Netzhautbilder 3 mm. und mehr beträgt, wobei die richtige Localisirung der Kugel beweist, dass wirklich beide Netzhäute bei der Wahrnehmung betheiligt waren. SCHOELER[4] fand

1 VOLKMANN, Arch. f. Ophthalmologie V. 2. 1859.
2 Derselbe, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1859.
3 DONDERS, Arch. f. Ophthalmologie XIII. 1. S. 12. 1867.
4 SCHOELER, ebenda XIX. 1. S. 20. 1873.

bei binocularer Betrachtung stereoskopischer Figuren mit instantaner Beleuchtung 2 mm. quere Disparation der Netzhautbilder als das Maximum, bei welchem dieselben noch verschmolzen wurden, während dasselbe für VOLKMANN nur etwa 1/5 mm. betrug. Alle derartigen Zahlen gelten nur für die besonderen Bedingungen des Versuches. Sind die disparaten Netzhautbilder zweier Linien oder Punkte, welche haploskopisch vereinigt werden sollen, nicht ganz gleich, z. B. die eine Linie stellenweise unterbrochen oder mit einem Zeichen versehen, oder sind beide Linien oder Punkte von verschiedener Farbe, so werden sie leichter doppelt nebeneinander gesehen, wie PANUM[1] und VOLKMANN (l. c.) gezeigt haben. Fig. 29 lehrt dies ebenfalls. —

Gegenüber der Behauptung, dass man ein auf Deckstellen liegendes Nachbild unter Umständen doppelt sehen könne, hat HERING[2] die schon oben erwähnte Behauptung JOH. MÜLLER's, dass dies nie der Fall sei, ausführlich vertheidigt. Das auf den Netzhautmitten liegende Nachbild z. B. bleibt immer einfach, auch wenn man es nicht in den Blickpunkt localisirt. Man lege auf dieses Blatt eine kleine schwarze Scheibe und fixire ihren Mittelpunkt anhaltend. Dann mindere man die Convergenz der Gesichtslinien, als ob man ein hinter diesem Buche gelegenes Object fixiren wolle: man sieht dabei das einfache Nachbild auf der Schrift liegen, diese selbst freilich doppelt. Wenn z. B. die Gesichtslinien nach dem hinter dem Buche liegenden Punkte b (Fig. 30) convergiren, so erscheint gerade vor uns in der scheinbaren Entfernung des Papieres $p\,p$, d. h. ungefähr in k, erstens das Wort w, auf welches die linke Gesichtslinie, zweitens das Wort w', auf welches die rechte Gesichtslinie gerichtet ist, und drittens das Nachbild. Die Buchstaben der beiden Worte liegen dabei mit einander im Wettstreite.

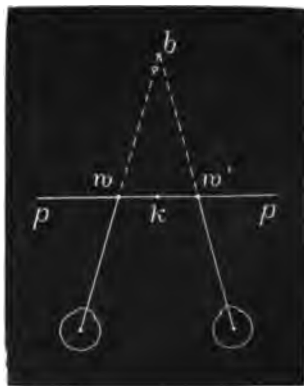


Fig. 30.

Fixirt man längere Zeit ein verticales schwarzes Band auf einer weissen Wand aus grosser Entfernung, so bildet sich dies Band beiderseits sehr annähernd auf den mittlen Längsschnitten ab und erzeugt daselbst ein Nachbild. Blickt man nun mit dem linken Auge auf die Mitte eines nahe an's Gesicht gebrachten horizontalen kleinen Blattes, so scheint das Nachbild auf demselben nicht median gerade-

1 PANUM, Das Sehen mit zwei Augen S. 64. Kiel 1858.
2 HERING, Beiträge zur Physiologie II. § 53. 1862.

aus, sondern etwas nach rechts zu verlaufen; fixirt man die Mitte des Blattes mit dem rechten Auge, so verläuft das Nachbild etwas schräge nach links. Fixirt man aber die Mitte des Blattes mit beiden Augen zugleich, so verläuft das Nachbild geradeaus und erscheint einfach auf der Durchschnittslinie der Medianebene und des Blattes. Achtet man nun zugleich auf die seitlichen Ränder des Blattes, so erkennt man, dass dieselben in schiefwinklig sich kreuzenden Doppelbildern erscheinen. Beim einäugigen Sehen bildet sich nämlich das Blatt im linken Auge mit anderer perspectivischer Verzerrung ab als im rechten, und das Nachbild hat im linken Netzhautbilde zu den Rändern des Blattes eine etwas andere relative Lage als im rechten Netzhautbilde. Entsprechend scheint uns, einäugig gesehen, das Nachbild eine verschiedene Lage auf dem Blatte zu haben, je nachdem wir mit dem linken oder mit dem rechten Auge sehen. Wir achten also dabei mehr auf die relative Lage des Nachbildes auf dem Blatte als auf seine absolute, d. h. seine Lage zur Medianebene.

WHEATSTONE, welcher zuerst festgestellt hat, dass man die Bilder disparater Stellen an demselben Orte sehen könne, zog daraus den Schluss, dass man auch umgekehrt die Bilder correspondirender Stellen nebeneinander sehen könne. WUNDT[1], NAGEL[2], HELMHOLTZ[3] haben dem beigestimmt, HERING dagegen hat behauptet, es komme nie vor, dass man zwei auf Deckstellen liegende Bilder im Sehraume nebeneinander sehe; nur hintereinander, d. h. auf derselben Sehrichtungslinie könne man sie sehen.

Man färbe ein steifes Blatt Papier zur rechten Hälfte roth, zur linken grün und mache auf die Mitte der geraden Grenzlinie beider Farben einen schwarzen Punkt. Dieses Blatt halte man so vors Gesicht, dass die Grenzlinie der Farben in die Medianebene, und der schwarze Punkt, der als Fixationspunkt dient, in die Höhe der Augen zu liegen kommt. Neigt man nun das Papier mit dem oberen Ende nach dem Gesichte, so sieht man die Grenzlinie einfach und der Wirklichkeit annähernd entsprechend geneigt, falls die Neigung des Papieres nicht zu stark ist und man nicht Uebung im Doppelsehen disparater Bilder hat. Das Analoge sieht man, wenn man die beiden perspectivisch verzogenen Zeichnungen eines solchen Blattes, wie sie Fig. 31 darstellt, haploskopisch vereinigt.

Wenn nun, sagt HELMHOLTZ, die Fixationspunkte f und f' auf

---

1 WUNDT, Ztschr. f. rat. Med. (3) XII. S. 227. 1861.
2 NAGEL, Das Sehen mit zwei Augen S. 78. 1861.
3 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 736.

die Netzhautcentren fallen, so werden auch je zwei gerade darüber gelegene Punkte, wie z. B. die auf der Zeichnung Fig. 31 durch Kreuzchen markirten, auf Deckstellen zu liegen kommen. Auf den zum Versuche benutzten farbigen Flächen sollen freilich diese beiden Punkte durch nichts von ihrer Umgebung verschieden sein. Sieht

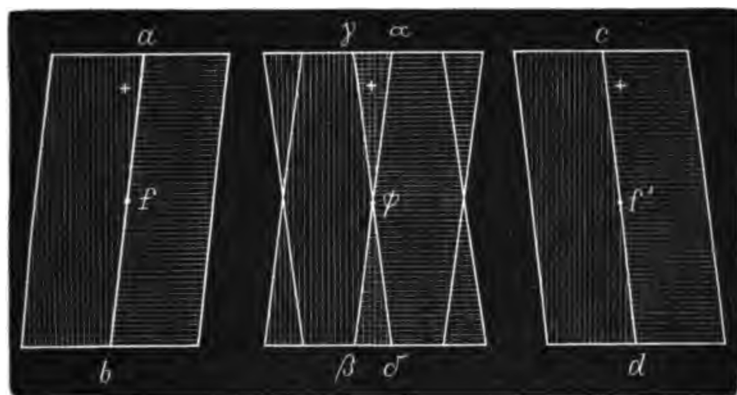


Fig. 31.

man nun die Grenzlinien *ab* und *cd* als eine einfache und mit dem oberen Ende nach vorn geneigte Linie, so wird der durch das Kreuzchen bezeichnete Punkt der grünen Halbfläche nach links, der correspondirende Punkt der rothen Halbfläche nach rechts von der Grenzlinie beider Flächen erscheinen, und die beiden Punkte werden also auf zwei verschiedenen Stellen des Sehfeldes gesehen, obwohl die entsprechenden Punkte der beiden Netzhautbilder auf Deckstellen liegen.

Wer im Unterscheiden disparater Bilder geübt ist, sieht freilich die Grenzlinie doppelt, wie es das Mittelbild der Fig. 31 darstellt, die beiden durch die Kreuzchen bezeichneten Punkte erscheinen ihm an demselben Orte im Sehfelde, und es zeigt sich daselbst wie überhaupt in den beiden Dreiecken $\gamma\varphi\alpha$ und $\beta\varphi\delta$ der Wettstreit der Farben oder eine Mischfarbe. Aber sofern Einer die Grenzlinie einfach sieht, trifft doch, so scheint es, die oben gemachte Auseinandersetzung von Helmholtz zu.

Indess ist dies nur die eine der beiden hier möglichen Auffassungen. Die andere ist die, dass beim Einfachsehen der Grenzlinie die den beiden Dreiecken $\alpha\varphi\gamma$ und $\beta\varphi\delta$ entsprechenden Empfindungen überhaupt gar nicht ins Bewusstsein treten. Die scheinbare Lage der Dinge hängt von der scheinbaren Lage ihrer Umrisse ab, und die Empfindung oder Farbe, welche die Umrisse ausfüllt,

folgt stets der Lage der letzteren. Ein kreisförmiges Nachbild z. B. wird elliptisch, wenn es auf einer zur Blickebene stark geneigten Ebene gesehen wird u. s. f. Die Empfindung erweist sich bei den verschiedenen Auslegungen, welche ein Netzhautbild erhalten kann, dehnbar wie Kautschuk. So folgt auch die der Grenzlinie $\alpha\beta$ nach rechts anliegende rothe und die der Grenzlinie $\gamma\delta$ nach links anliegende grüne Empfindung dieser Grenzlinie in ihre durch die haploskopische Verschmelzung gegebene mediane Lage. Die den Dreiecken $\alpha\varphi\gamma$ und $\beta\varphi\delta$ entsprechenden Theile des Netzhautbildes werden unterdrückt, falls sie, wie hier angenommen wurde, ganz gleichartig sind und nichts Unterscheidbares, insbesondere keinerlei Punkte oder scharfe Conturen enthalten. Bringt man auf den farbigen Flächen, so wie auf Fig. 31, je ein Kreuzchen an, so sieht man bei der haploskopischen Verschmelzung ein einfaches Kreuzchen umgeben von der jeweiligen Mischfarbe, und wer dann bei fester Fixirung der Punkte f und f' die Grenzlinie noch einfach sähe, würde sie vor dem Kreuzchen sehen, als ob er das letztere durch eine geneigte Glasplatte sähe, die zur einen Hälfte aus rothem, zur andern aus grünem Glase besteht. Zwischen den beiden räumlichen Auslegungen, welche ein solches Doppelnetzhautbild gestattet, nämlich der stereoskopischen und der flächenhaften, findet beim Geübten häufig ein ähnlicher Wettstreit statt, wie der oben beschriebene zwischen den Conturen; bald tritt das nach der Dimension der Tiefe ausgedehnte einfache Bild ins Bewusstsein, bald wieder das flächenhafte doppelte.

Welche der beiden hier erörterten Auffassungen die richtige ist, muss dahin gestellt bleiben.

Es bliebe uns übrig, das Sehen von Bewegungen bei unbewegtem Blicke zu besprechen und endlich zu erörtern, in wie weit die Localisirung, insbesondere betreffs der scheinbaren Ferne und Grösse, noch durch andere Motive bestimmt wird, als die oben dargelegten. Diese Erörterungen aber werden zweckmässiger Weise im zweiten Abschnitte, welcher vom Sehen mit bewegtem Blicke handelt, am passenden Orte eingefügt werden.

Das Sehen mit unbewegten Augen ist im Grunde ein unnatürlicher Zustand, den wir unserm Sehorgane nur zum Zwecke wissenschaftlicher Untersuchung abnöthigen; sonst pflegen unsere Augen nur dann still zu stehen, wenn unsere Aufmerksamkeit dem Gesichtssinne nicht zugewandt ist; so oft wir wirklich sehen, bewegen wir auch fast immer die Augen.

ZWEITER ABSCHNITT.

Das Sehen mit bewegten Augen.

NEUNTES CAPITEL.

Die Bewegungen des Blickpunktes.

Beim gewöhnlichen Sehen ändert der Blickpunkt fortwährend seine Lage; denn um die Aussendinge möglichst vollständig kennen zu lernen, betrachten wir nacheinander alle Einzeltheile derselben und suchen dieselben möglichst scharf wahrzunehmen, was eben nur dadurch erreicht wird, dass wir ihre Bilder auf die beiden Netzhautcentren bringen. Bei kleinen Objecten genügt hierzu die blosse Drehung der Augäpfel in ihren Höhlen. Ist aber das betrachtete Aussending grösser, so benützen wir behufs der Bewegung des Blickpunktes auch Drehungen und Neigungen des Kopfes, weiterhin des Oberkörpers, endlich sogar Ortsveränderungen des ganzen Körpers.

Selten ruht unsere Aufmerksamkeit und damit unser Blick auch nur secundenlang auf einer Stelle, vielmehr springt sie von Punkt zu Punkt und ihren Sprüngen und Wanderungen folgt sklavisch der Blickpunkt, in dessen zweckentsprechender Bewegung wir vielleicht mehr Uebung haben, als in irgend welcher andern Bewegung, weil wir kein anderes Organ so anhaltend beschäftigen, wie das Sehorgan.

Wenn wir nicht eben mit der Betrachtung eines Gegenstandes beschäftigt sind, so stehen die Gesichtslinien fast immer nahezu symmetrisch zur Medianebene; die Convergenz der Gesichtslinien und die Neigung der Blickebene ist dabei je nach individueller Gewohnheit und nach anderen zufälligen Umständen verschieden. Wollen wir einen Gegenstand betrachten, so stellen wir uns ihm so gegenüber oder halten ihn so vors Gesicht, dass er symmetrisch zur Medianebene zu liegen kommt. Ist der Gegenstand fern, so drehen wir, je nachdem er über oder unter der horizontalen Hauptebene

liegt, den Kopf nach oben oder unten. Gegenstände, die wir mit der Hand halten, besehen wir mit etwas vorwärts geneigtem Kopfe; diese Haltung hat der Kopf insbesondere auch beim Lesen und Schreiben. Wird ein Object mit nach oben gewandtem Kopfe betrachtet, so bleibt die Blickebene nicht rechtwinklig zur Frontalebene des Kopfes, sondern ist auch relativ zum Kopfe gehoben; ist der Kopf im Interesse des Sehens nach unten gewandt, so ist auch die Blickebene relativ zum Kopfe gesenkt. Es ist also hierbei immer die Lage der Blickebene in Bezug auf die primäre Blickebene in demselben Sinne verändert, wie die Stellung des Kopfes in Bezug auf seine Primärstellung.

Im Allgemeinen können wir zwei Hauptarten des Sehens unterscheiden, nämlich das Fernsehen, wobei der Kopf durchschnittlich die Primärstellung einhält und die Gesichtslinien horizontal und parallel geradeaus gestellt sind, und das Nahesehen, wobei durchschnittlich der Kopf nach vorn geneigt und auch die Blickebene relativ zum Kopfe gesenkt ist, und die Gesichtslinien symmetrisch auf diejenige Entfernung convergiren, welche der individuellen mittlen Blick- oder Sehweite entspricht, d. i. der Entfernung, aus der wir mittle Druckschrift oder andere kleine Objecte zu betrachten pflegen. Gesichtslinien und Blickpunkt haben also beim Fernsehen eine andere Mittellage als beim Nahesehen. Aus dieser Mittellage schweift der Blick nach allen Richtungen heraus, um immer wieder zu derselben zurückzukehren.

Die Bewegung des Blickpunktes aus der Mittellage erfolgt zunächst durch Drehungen der Augen, dann des Kopfes, weiterhin des Oberkörpers und schliesslich durch Drehungen und Ortsveränderung des ganzen Körpers. Liegt der Zielpunkt der Bewegung dem jeweiligen Blickpunkte sehr nahe, so bewegen sich allein die Augen; ist aber von vornherein eine grössere Ortsveränderung des Blickpunktes beabsichtigt, so beginnt gleichzeitig mit der Drehung der Augen auch eine des Kopfes, so dass die Bewegung des Blickpunktes die Resultirende beider Bewegungen ist. Kommt es uns darauf an, ein vom jeweiligen Blickpunkte erheblich Abliegendes rasch deutlich zu sehen, so beginnt auch die Drehung des Oberkörpers gleichzeitig mit derjenigen der Augen und des Kopfes. Gleitet jedoch der Blick aus einer gegebenen Anfangslage entlang einer Geraden oder überhaupt in gleichbleibender Richtung langsam vorwärts, so dass der Blick Punkt für Punkt weiter schreitet, dann beginnt die Bewegung mit einer Drehung der Augen, darnach gesellt sich eine Drehung des Kopfes und schliesslich eine solche des Körpers hinzu.

Aus alledem ergiebt sich, dass es unter den gewöhnlichen Verhältnissen von der Stärke der Innervation abhängt, ob Kopf und Körper mit bewegt werden. Die Stärke der Innervation ist um so grösser, erstens je weiter der Zielpunkt der Bewegung von der Mittellage abliegt, zweitens je grösser der Drang ist, das neue Ziel rasch mit dem Blicke zu erfassen. Setzt die Innervation gleich mit einer gewissen Stärke ein, so wird auch sofort der Kopf beziehungsweise der Körper mitbewegt; entwickelt sie sich erst allmählich zu grösserer Stärke, so wird erst nachträglich der Kopf und der Körper in die Bewegung einbezogen.

Wenn man mit der Cigarre oder einem Bleistift im Munde liest oder schreibt, und nur einigermaassen im indirecten Sehen geübt ist, so kann man, wie Donders[1] erwähnt, jede die Blickbewegungen begleitende Kopfbewegung sehr leicht beobachten; denn die Doppelbilder des Bleistiftes bleiben unbewegt, so lange nur die Augen sich bewegen, verschieben sich aber relativ zur Schrift, sobald der Kopf die kleinste Bewegung macht. Man erkennt dann, dass man beim Lesen nur sehr kleine Blickbewegungen nicht mit dem Kopfe begleitet. Beim Schreiben, wobei man von Zeit zu Zeit die Hand weiter schieben muss, tritt gewöhnlich bei jeder solchen Verschiebung gleichzeitig eine Drehung des Kopfes ein. Der Antheil, den beim Nahesehen die Kopfbewegung an der Blickbewegung nimmt, ist nach allen Richtungen aus der Mittellage ungefähr derselbe.

Hat man den Kopf auf die Hand gestützt, so nimmt derselbe an der Blickbewegung viel weniger Antheil; man fühlt dann jede Kopfbewegung an der Stirn- und Handfläche.

Viel besser als an sich selbst macht man übrigens derlei Beobachtungen an Andern, die nicht wissen, dass sie beobachtet werden. Man findet dabei mancherlei individuelle Verschiedenheiten.

Ritzmann[2] hat auf Anregung von Donders mit Hülfe eines mit den Zähnen festgehaltenen Visirzeichens (s. u.) messende Versuche über den verhältnissmässigen Antheil der Kopfbewegung an der Blickbewegung angestellt, doch hatte seine Methode den Nachtheil, dass der Beobachter zugleich das Object der Beobachtung war, wobei, wie auch Ritzmann selbst hervorhebt, die Blickbewegungen leicht unnatürlich werden. Man müsste für solche Messungen, wenn sie reine Resultate geben sollten, eine Methode ausfindig machen, bei welcher die Versuchsperson gar nicht weiss, worum es sich han-

1 Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 399. 1876.
2 Ritzmann, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 131. 1875.

delt und auch nicht den Messapparat im Munde halten muss, wie dies bei Ritzmann's Methode der Fall ist.

Immerhin stimmten die Ergebnisse von Ritzmann im Allgemeinen gut mit dem, was die unmittelbare Beobachtung an Andern lehrt, und sie sind bisher die einzigen in Zahlen ausgedrückten. Er fand, dass die Kopfdrehungen der Entfernung der beiden Blickpunkte annähernd proportional zunahmen, dass die Kopfbewegungen schon bei den kleinsten Blickbewegungen auftraten, und dass die Betheiligung des Kopfes nicht nach allen Richtungen gleich gross war, am kleinsten bei der Blickbewegung nach unten. In Bezug auf letzteren Punkt ist aber zu betonen, dass Ritzmann ein verhältnissmässig fernes Gesichtsfeld benutzte und dabei, wie es scheint, nur mit einem Auge beobachtete, was, wie aus dem Folgenden hervorgehen wird, zu anderen Ergebnissen führen muss, als die Untersuchung beim Binocularsehen.

Ritzmann's[1] Methode war folgende: „An einem mit Gebissabguss versehenen Mundstück ragt ein leichtes Holzstäbchen in der Richtung der Axe des einen — hier des rechten — Auges nach vorn und ist hier so nach oben abgebogen, dass sein Endpunkt in die Höhe des Auges, also in die verlängerte Axe selbst fällt (siehe Figur 32). Dieses Ende ist das feste Visir (V). Von ihm geht senkrecht auf die Visiraxe ein Stück Kreisbogen aus Aluminium (Al) aus, auf der concaven Fläche in Grade eingetheilt, ca. 50° lang. Das Centrum, von dem aus dieser Kreis beschrieben ist, liegt über dem hinteren Ende des Stäbchens, und fällt bei richtiger, für jeden Untersucher erst zu bewerkstelligender Einstellung in den Drehpunkt des betreffenden visirenden Auges. Der Bogen entspricht daher einem durch den Fixirpunkt gehenden Meridiane des kuglig gedachten Blickfeldes, und zwar, da er um V drehbar ist, jedem beliebigen. Indem man nun den Aluminiumbogen auf den secundär fixirten Punkt einstellt, und die diesem entsprechende Gradzahl abliest, hat man ein Maass für die directe meridionale Entfernung dieses Punktes von dem dem festen Visir entsprechenden Punkte des Raumes. Jene Zahl giebt nämlich den Winkel an, um den sich das Auge drehen musste, um von einem zum andern zu gelangen. Der Winkel des Aluminiumbogens mit der Horizontalen, d. h. die Neigung des beide Punkte verbindenden Meridians gegen den Horizont, wird durch einen kleinen Zeiger auf einem

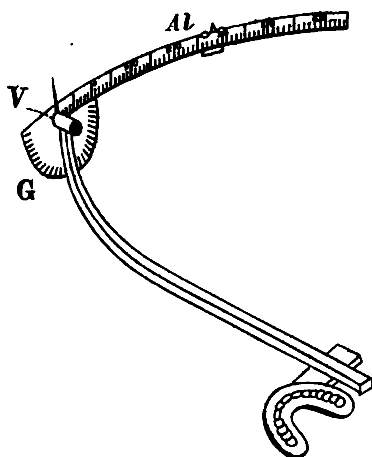


Fig. 32.

1 Ritzmann, Arch. f. Ophthalmologie XXI. 1. S. 133. 1875.

Gradbogen (G) angegeben. Durch diese beiden Werthe ist jeder Punkt in Bezug auf einen andern eindeutig bestimmt.“

Wir haben bisher den Fall nicht besonders berücksichtigt, wo der Blick von einem näheren zu einem ferneren Punkte übergeht oder umgekehrt. Sehr selten wird es dabei vorkommen, dass beide Punkte in der Durchschnittslinie der Medianebene und der Blickebene, d. i. der Medianlinie, oder bei seitlich gerichtetem Blicke auf der ungefähren Halbirungslinie des Convergenzwinkels der Gesichtslinien liegen. In solchem Falle würde eine blosse Mehrung oder Minderung der Convergenz der Gesichtslinien zur Ausführung der nöthigen Blickbewegung genügen und keine Veranlassung zu begleitender Kopfbewegung sein. In den weitaus meisten Fällen aber liegt der nähere oder fernere Punkt zugleich auch über oder unter der augenblicklichen Blickebene, weil die Aussendinge meist auf einer Ebene angeordnet sind, die entweder horizontal oder mässig zur Horizontalen geneigt ist. Deshalb gesellt sich zur Mehrung der Convergenz meist auch eine weitere Senkung der Blickebene, und wenn der Zielpunkt der Bewegung seitwärts liegt, auch eine Wendung der Gesichtslinie nach rechts oder links. So verbinden sich mit gewissen Convergenzgraden gewisse Neigungen der Blickebene relativ zum Kopfe und gewisse Stellungen des letzteren, und wenn, wie z. B. beim Lesen während des Liegens, diese gewohnten Bewegungscombinationen nicht anwendbar sind, sondern durch andere ersetzt werden müssen, so fühlen wir uns gestört und angestrengt.

Die Linie, welche den Drehpunkt des Auges mit dem fixirten Punkte verbindet, ist von Helmholtz als Blicklinie benannt worden. Da jedoch, wie wir im folgenden Capitel sehen werden, streng genommen ein constanter Drehpunkt nicht nachgewiesen ist, und derselbe von den Einen auf der Hauptvisirlinie, von Anderen auf der Hornhautaxe angenommen wird, so erscheint es für jetzt genügend gerechtfertigt, wenn man kurzweg die Gesichtslinie zugleich als Träger des Drehpunktes ansieht.[1]

Die Stellung, welche die Gesichtslinien haben, wenn man bei der im nächsten Capitel zu definirenden Primärstellung des Kopfes horizontal geradaus in die Ferne sieht, heisst die Primärstellung der Gesichtslinien und der Punkt des Gesichtsfeldes, auf welchen eine oder beide Gesichtslinien in der Primärstellung gerichtet sind, der primäre Fixations- oder Blickpunkt.

1 Dem entsprechend haben wir auch im Obigen nicht die durch die beiden Hauptvisirlinien gehende Ebene als „Visirebene“ von der Blickebene als der durch die beiden „Blicklinien“ gelegten Ebene unterschieden, sondern die durch die beiden Gesichtslinien gehende Ebene die Blickebene genannt.

Denkt man sich bei fixirtem Kopfe die Gesichtslinie eines Auges aus der Primärstellung in allen durch letztere gehenden Bahnebenen möglichst weit abgelenkt, so werden alle diese Grenzlagen der Gesichtslinie in ihrer Gesammtheit eine unregelmässige Kegelfläche darstellen, deren Spitze im Drehpunkte liegt. Der von dieser Kegelfläche umschlossene Raum ist der Bewegungsraum der bezüglichen Gesichtslinie. Denkt man sich ferner in beliebiger Entfernung vom Auge eine, die Primärstellung der Gesichtslinie senkrecht durchschneidende Ebene, so wird dieselbe die genannte Kegelfläche in einer krummen Linie durchschneiden, welche die Grenze darstellt, bis zu welcher allerseits die Gesichtslinie des bezüglichen Auges in diesem ebenen Gesichtsfelde bewegt werden kann. Die von dieser krummen Linie umschlossene Fläche des ebenen Gesichtsfeldes ist das Bewegungsfeld der bezüglichen Gesichtslinie. Denkt man sich ein sphärisches Gesichtsfeld, dessen Krümmungsmittelpunkt im Drehpunkte liegt, so erhält man entsprechend ein sphärisch gekrümmtes Bewegungsfeld.

Nach Helmholtz[1] beträgt die stärkste ihm mögliche Ablenkung der Gesichtslinie nach rechts oder links 50°, nach oben oder unten etwa 45°.

Ganz andere Zahlen für die Ablenkung nach oben und unten ergeben sich jedoch aus der Abbildung (Fig. 33), welche Helmholtz von der Form

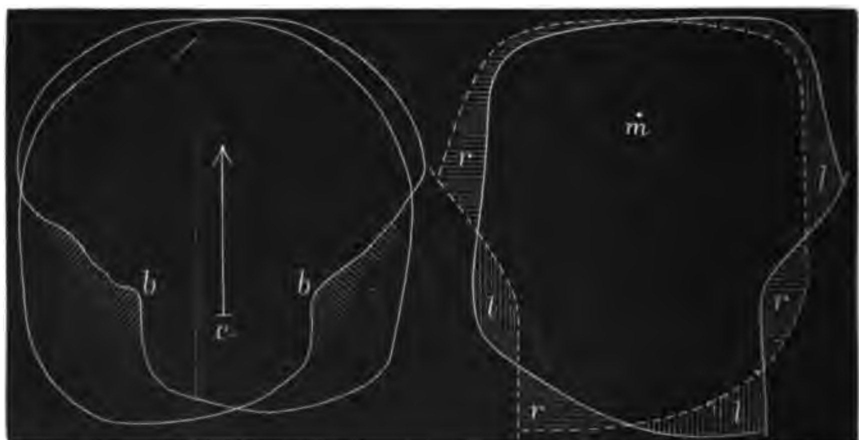


Fig. 33. Fig. 34.

der ebenen Bewegungsfelder seiner beiden Gesichtslinien gegeben hat. Beide Felder sind übereinandergelegt, sodass die primären Punkte der-

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 459.

selben sich decken; letztere entsprechen in der Figur der Spitze des Pfeiles. Die Länge des Pfeiles entspricht dem angenommenen Abstande des Drehpunktes vom Bewegungsfelde. Nach unten hin ist das Bewegungsfeld jeder Gesichtslinie auf der inneren Seite eingeengt durch die hervortretende Nase *b*, *b*; was vom Nasenrücken noch fixirt werden kann, ist durch Schattirungen angedeutet.

SCHUURMANN[1] gab als Mittelwerthe für die maximalen Ablenkungen der Gesichtslinie emmetropischer Augen nach innen 45°, nach aussen 42°, nach oben 34°, nach unten 57°; für Myopen erwies sich die Excursionsfähigkeit um so geringer, je stärker die Myopie war, im Mittel nach innen 41°, nach aussen 38°; für Hypermetropen nach innen 47°, nach aussen 38°. Doch ist zu bemerken, dass nicht die Primärstellung, sondern nur eine horizontal geradaus gerichtete Stellung der Gesichtslinie als deren Mittellage angenommen war.

VOLKMANN[2], welcher nach der unten zu beschreibenden Methode von HERING untersuchte, fand als Mittel aus den Versuchsergebnissen an 3 Personen (W. VOLKMANN, R. HEIDENHAIN u. O. NASSE) folgende Werthe:

nach oben 35°	nach unten 50°
nach innen 42°	nach aussen 38°
nach innen u. oben 38°	nach innen und unten 44°
nach aussen u. oben 38°	nach aussen u. unten 46°

Die Mittellage war auch hier nicht nothwendig die Primärstellung. Dasselbe gilt wohl auch von AUBERT's[3] Messungen an seinem rechten Auge, welche ergaben:

nach oben 30°	nach unten 57°
nach innen 44°	nach aussen 38°

KÜSTER[4] fand aus der Primärstellung n. i. 45°, n. a. 43°, n. o. 33°, n. u. 43 und 44°.

HERING[5] giebt für die maximalen Ablenkungen seiner Gesichtslinien aus der Primärstellung folgende Zahlen:

	linkes	rechtes Auge
nach oben	20°	20°
nach unten	62°	59°
nach innen	44°	46°
nach aussen	43°	43°

1 SCHUURMANN, Vergelijkend onderzoek. der bewegingen van het oog. Utrecht 1863. Dies Citat ist entnommen dem Handb. d. ges. Augenheilk. III. 1. Th. S. 233. Betreffs der von SCHUURMANN angewandten Methode muss auf das uns nicht zugängliche Original verwiesen werden.

2 A. W. VOLKMANN, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Mathem.-physik. Cl. S. 62. 6. Febr. 1869.

3 AUBERT, Handb. d. ges. Augenheilk. II. 2. Th. S. 593. 1876.

4 KÜSTER, Arch. f. Ophthalmologie XXII. (1) S. 174. 1876.

5 HERING, Die Lehre vom binocularen Sehen S. 44. 1868.

Er untersuchte nach folgender Methode: „Parallel zu den Verbindungslinien der Knotenpunkte wird eine vertikale Glastafel aufgestellt und auf derselben werden mit dickflüssiger Tusche oder Oelfarbe die beiden Punkte markirt, in welchen die (in der Primärstellung befindlichen) horizontalen Gesichtslinien die Glastafel durchschneiden. Hinter der Glastafel ist auf einem farbigen Grunde eine zum Grunde ungefähr complementär gefärbte kleine Scheibe oder Oblate angebracht, für Normalsichtige an einer möglichst weit entfernten Wand, für Kurzsichtige im Fernpunkte ihrer Augen. Diese Scheibe wird fest fixirt, so dass man ein dauerhaftes Nachbild von derselben bekommt; dann lässt man den Blick auf der fernen Wand in beliebiger Richtung so weit wandern, bis er nicht mehr weiter kann und das Nachbild auf der Wand stehen bleibt. In diesem Momente markirt man wieder auf der Glastafel den Punkt, in welchem sie von der Gesichtslinie durchschnitten wird. Dann kehrt man wieder zur farbigen Scheibe zurück, frischt das Nachbild auf und lässt nun die Gesichtslinie in einer anderen Richtung bis an die Grenze ihres Spielraumes wandern u. s. f. Auf diese Weise bekommt man auf der Glastafel eine Reihe von Punkten, welche man zu einer Curve verbindet, die den vertikalen Durchschnitt der Kegelfläche darstellt, von welcher der Spielraum der Gesichtslinie begrenzt wird. Nachdem man diese Curve für beide Augen erhalten hat, lässt sich aus ihr und aus der Entfernung der Glastafel vom Drehpunkte der Augen der Winkel finden, um welchen die Gesichtslinie in einer beliebigen Richtung aus der Primärstellung abweichen kann. Das Nachbild ist unentbehrlich, weil man sonst keine Controle darüber hat, ob die Gesichtslinie wirklich auf den Punkt, welchen man zu fixiren glaubt, eingestellt ist; man täuscht sich in dieser Beziehung bei starker Wendung des Auges sehr leicht." Die auf der Glastafel von Hering verzeichneten Curven sind in Fig. 35 verkleinert wiedergegeben, die unterbrochene Curve gehört dem rechten, die ausgezogene dem linken Auge an; die Linie zwischen Fig. 35 u. 36 stellt den in demselben Verhältnisse verkleinerten Abstand der Glastafel von den Drehpunkten dar, *l* und *r* sind die Punkte, in welchen die linke und die rechte Gesichtslinie in der Primärstellung die Glastafel durchschnitten. Nach innen und unten wird die Curve von dem Contour der Nase gebildet. Denkt man sich eine zur Primärstellung der Gesichtslinien verticale sehr entfernte Ebene und auf derselben für jedes Auge das Gebiet verzeichnet, innerhalb dessen die Gesichtslinie auf jener Ebene sich bewegen kann, so haben diese beiden unocularen Bewegungsfelder in der Verkleinerung die in Fig. 34 (S. 442) ange-

gebene gegenseitige Lage. Die Punkte *r* und *l* (Fig. 35) sind hier in einen Punkt *m* zusammengefallen, welcher den sehr fernen Fixationspunkt darstellt. Die Figur zeigt ebenso wie die Nebenfigur 33 von HELMHOLTZ, dass das eine Auge auf Punkte eingestellt werden

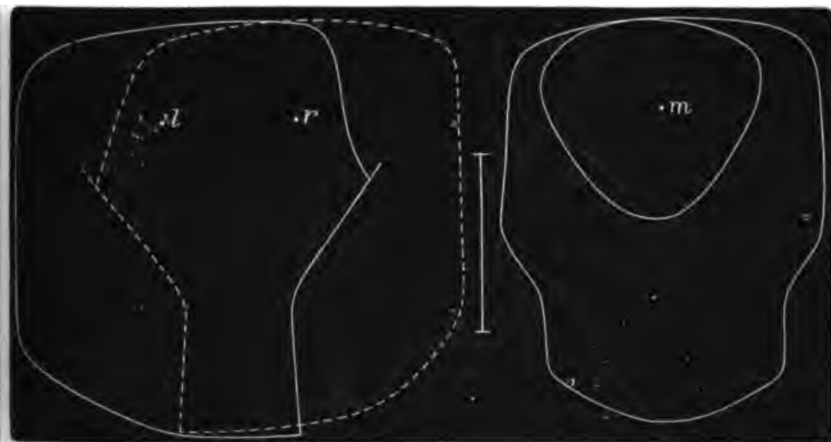


Fig. 35. Fig. 36.

kann, die das andere Auge nicht fixiren kann: die beiden unocularen Bewegungsfelder decken sich nicht. Diejenigen Theile, auf welche sich nur das linke Auge einstellen kann, sind vertical schraffirt und mit *l* bezeichnet, die nur dem rechten Auge zugänglichen horizontal schraffirt und mit *r* bezeichnet.

Nicht auf jeden Punkt des Aussenraumes, auf den jede Gesichtslinie für sich gerichtet werden kann, lassen sich beide Gesichtslinien zugleich richten, und der Spielraum des binocularen Blickpunktes, d. h. der binoculare Blickraum ist viel kleiner als der den beiden Bewegungsräumen der Gesichtslinien gemeinschaftliche Raum. Am deutlichsten zeigt sich dies, wenn die Blickebene erheblich gesenkt und zugleich ein fernes Object betrachtet wird; man überzeugt sich dabei leicht, dass das Einfachsehen immer schwieriger wird und immer leichter gleichseitige Doppelbilder der fernen Objecte auftreten, weil die Gesichtslinien unwillkürlich mehr u. mehr convergiren. Um ferne, nach unten liegende Gesichtsobjecte zu erhalten, benutzt man zweckmässig einen mehr oder weniger tiefgehaltenen horizontalen oder wenig zur Horizontalebene geneigten Spiegel, welcher ferne über oder an dem Horizonte gelegene Dinge spiegelt. Man befestige den Kopf und den Spiegel, blicke mit dem linken Auge nach dem erheblich unter dem Horizonte in der Nähe der Medianebene erscheinenden Spiegelbilde eines fernen Objects und

markire mit Tinte oder sonstwie den Punkt, wo jetzt die Gesichtslinie den Spiegel durchschneidet. Dann betrachte man denselben Punkt des Spiegelbildes mit dem rechten Auge und markire den Durchschnittspunkt der rechten Gesichtslinie mit der Spiegelebene. Blickt man nun mit beiden Augen zugleich nach dem fernen Spiegelbilde, so wird man es doppelt sehen und die beiden Marken werden sich nicht binocular decken. Gleichwohl kann man jede Marke für sich binocular fixiren: Beweis, dass jede Gesichtslinie sehr wohl auf jeden der beiden Punkte eingestellt werden kann, wenn die andere mit ihr convergirt, nicht aber wenn dieselbe mit ihr parallel ist.

Legt man durch den binocularen Blickraum eine zur primären Blickebene und zur Medianebene senkrechte Ebene, so giebt der Durchschnitt ein binoculares Blickfeld, da je nach der Entfernung, in welcher es von den Augen liegt, eine verschiedene Gestalt hat. In Fig. 36 (S. 445) hat Hering das binoculare Blickfeld seiner beiden in die Ferne sehenden Augen, in demselben Verhältniss verkleinert, in dasjenige Feld eingezeichnet, welches jeder von beiden Gesichtslinien beim einäugigen Sehen zugänglich ist. Man sieht, wie klein hier das binoculare Blickfeld im Vergleich zum gemeinsamen Bewegungsfelde beider Gesichtslinien ist. Die Figur hat aber selbstverständlich nur individuelle Bedeutung.

Auch beim Nahesehen ist, wie Hering gezeigt hat, das binoculare Blickfeld viel kleiner als das Feld, welches den in derselben Entfernung geführten Durchschnitt des Raumes darstellt, der jeder von beiden Gesichtslinien für sich zugänglich ist. Man braucht nur ein kleines Object nahe vor dem Gesichte umherzubewegen und es mit dem Blicke zu verfolgen, so wird man es schon doppelt sehen, wenn es noch erheblich von der Grenze desjenigen Gebietes absteht, welches den Spielräumen beider Gesichtslinien gemeinsam ist, in Lagen also, in welchen jedes einzelne Auge es noch bequem fixiren kann. Bringt man bei gehobener Blickebene ein in der Medianebene gelegenes Object den Augen so nahe, dass die binoculare Fixirung desselben schon Mühe macht und das Gefühl starker Anstrengung im Auge hervorruft, und schliesst dann ein Auge, so wird man bemerken, dass es gar keine Anstrengung kostet, die Gesichtslinie des offenen Auges auf das Object einzustellen, und zwar gleichviel welches Auge das offene ist. Nähert man das Object noch mehr, so zerfällt es in ungleichseitige Doppelbilder, obwohl auch jetzt noch die Gesichtslinie jedes einzelnen Auges auf dasselbe eingestellt werden kann, sobald das andere Auge geschlossen wird.

Aus der Primärstellung kann, wie die oben mitgetheilten An-

gaben lehren, die Gesichtslinie des emmetropischen Auges um beiläufig einen halben rechten Winkel einwärts gewandt werden. Könnten beide Gesichtslinien gleichzeitig so weit einwärts gedreht werden, so müssten sie sich in einem Punkte der primären Blickebene durchschneiden, welcher nur um die halbe Distanz der Augen, d. i. um 30—35 mm. von der Verbindungslinie beider Drehpunkte der Augen entfernt wäre und also ganz dicht vor der Nasenwurzel läge. Die dazu nöthige Convergenz ist jedoch emmetropischen Augen nicht möglich.

Messungen der stärksten möglichen Convergenzgrade sind deshalb schwer anzustellen, weil hierbei die Ermüdung sich fast noch rascher bemerkbar macht, als bei den stärksten Wendungen der Gesichtslinien beim einäugigen Sehen. Ferner ist dabei zu bedenken, dass das Maximum der Convergenz bei verschiedenen Neigungen der Blickebene zum Kopf verschieden ist, bei Hebung derselben ab-, bei Senkung zunimmt.

Den Grund für die Einschränkung des binocularen Blickraumes im Vergleich zu dem Raume, welcher beiden Gesichtslinien beim einäugigen Sehen zugängig ist, findet HERING[1] theils in der Unmöglichkeit, die entsprechenden (ungewohnten) Innervationen aufzubringen, theils in mechanischen Ursachen, welche darin liegen, dass das Auge bei einer und derselben Stellung der Gesichtslinie relativ zum Kopfe beim Nahsehen durch eine etwas andere Muskelthätigkeit in seiner Lage gehalten wird, als wie beim Fernsehen (s. u.).

Wenn man das Excursionsvermögen der Gesichtslinien auf einem in mittler Blick- oder Sehweite (12″) befindlichen, der Frontalebene ungefähr parallelen Gesichtsfelde bestimmt, indem man auf demselben, wie dies SCHNELLER[2] that, kleine Druckschrift aus der primären Lage bis dahin verschiebt, wo eben noch die Buchstaben derselben erkannt werden, so findet man bei Emmetropen, dass das binoculare Blickfeld dem gemeinsamen Theile der beiden unocularen Blickfelder nahezu entspricht. Es ist dies deshalb von vornherein zu erwarten, weil die Innervationen, welche nothwendig sind, um die benutzten Buchstaben direct und scharf zu sehen, beim einäugigen Sehen dieselben sind, wie beim doppeläugigen, sodass also jeder Grund für die relative Einschränkung des binocularen Blickfeldes wegfällt. Aus der Unkenntniss dieses Umstandes erklären sich einige Einwürfe, welche gegen die Angaben HERING's über die relative Grösse des binocularen Blickraumes erhoben worden sind. —

Die Geschwindigkeit der Bewegungen des Blickes hat LAMANSKY[3] unter der Leitung von HELMHOLTZ untersucht. Wenn das Auge wäh-

---

1 HERING l. c. S. 47.
2 SCHNELLER, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (3) S. 133. 1875.
3 LAMANSKY, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 418. 1869.

rend seiner Bewegung der Reizung durch ein kleines intermittirendes Licht ausgesetzt wird, so wird die Zahl der hierbei gesehenen Nachbilder abhängen von der Zeit, in welcher die einzelnen Lichtreize nacheinander folgen, sowie von der Geschwindigkeit, mit welcher das Auge seinen Weg zurücklegt. Demnach suchte Lamansky aus der Zahl der Nachbilder, welche er erhielt, während er mit dem Auge eine bestimmte Bewegung ausführte und auf dasselbe eine Reihe in bestimmten Zeitintervallen sich folgender Lichtreize einwirken liess, die Winkelgeschwindigkeit der Bewegung der Gesichtslinie zu ermitteln. Als Blickfeld diente ein schwarzer Schirm, über dessen Entfernung Lamansky nichts angegeben hat. Auf demselben bildeten zwei Marken den Anfang und das Ende der Blickbahn. Die Zeit zwischen je zwei Lichtreizen betrug 0,00477″. Der Kopf war fixirt.

Die grösste Winkelgeschwindigkeit, etwa 4 mal 360° in der Secunde, wurde für die Bewegungen in horizontaler Bahn gefunden, sowohl bei aufrechtem als bei vor- oder rückwärts geneigtem Kopfe. Für die verticale Bahn war die Geschwindigkeit nahezu dieselbe. Kleinere Werthe ergaben sich für die schrägen Blickbahnen (etwa 3—3,5 mal 360° in der Secunde).

Die Zeit, welche zu einer Blickbewegung nöthig ist, und welche ausser der eigentlichen Bewegung des Augapfels auch die verschiedenen dabei in Betracht kommenden psychischen Processe in sich schliesst, hat Volkmann [1] in folgender Weise zu bestimmen versucht. Er „fixirte abwechselnd zwei Stecknadeln, welche in verschiedenen Richtungen und Entfernungen vom Auge aufgestellt waren, und prüfte, wie oft er in der Zeit von ½ Minute oder 1800 Tertien den Blick verändern konnte.“ Mittels Division dieser Zeit durch die Zahl der Bewegungen erhielt er die Dauer einer Bewegung in Tertien. Die allgemeinen Ergebnisse seiner Untersuchung waren:

1) „Die Augenbewegungen sind unter allen Umständen sehr viel langsamer als die Fingerbewegungen eines geübten Clavierspielers.

2) Bei gleicher Entfernung der Objecte und unveränderter Stellung der Ebene, in welcher sie liegen, wächst die Schnelligkeit der Augenbewegungen mit der Verkleinerung des zu beschreibenden Winkels, ausgenommen, wenn die Grösse des letzteren unter 7° fällt, wo dann die Beschleunigung der Bewegung aufhört.

3) Die Lage der Ebene, in welcher die gleich weit entfernten Objecte liegen, hat Einfluss auf die Dauer der Bewegung, indem

1 Volkmann, Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. 1. S. 276. 1846.

gleichgrosse Bewegungen am schnellsten in einer lothrechten, langsamer in einer horizontalen oder schiefen Ebene ausgeführt werden.

4) Bewegungen, an welchen beide Augen Theil nehmen, verlangen beträchtlich mehr Zeit, als Bewegungen nur eines Auges (wahrscheinlich, weil die Kreuzung der Sehaxen nicht gleich zu finden ist).

5) Mit zunehmender Grösse der Bewegung wächst die Dauer derselben in schnellerer Progression, wenn beide Augen beim Sehen betheiligt sind, als wenn nur eines benutzt wird.

6) Ungleiche Entfernung der abwechselnd fixirten Objecte hat einen bedeutend retardirenden Einfluss auf die Augenbewegungen."

Die ausführlichen von Volkmann mitgetheilten Tabellen gestatten keinen Auszug. Durchschnittlich bedurfte derselbe zu einer Blickbewegung etwa eine halbe Secunde. Die Winkelgrösse der Bewegung war dabei von verhältnissmässig geringem Einfluss, woraus sich schliessen lässt, dass ein grosser Theil der verbrauchten Zeit durch die psychischen Processe in Anspruch genommen wurde, nicht durch die eigentliche Bewegung.

Ueber die Geschwindigkeit, mit welcher durch Veränderungen des Convergenzwinkels der Gesichtslinien der Blickpunkt genähert oder entfernt wird, liegt ferner die Angabe Hering's vor, dass er die Näherung des binocularen Blickpunktes viel rascher ausführen könne als dessen Fernerung.

Mit der Näherung oder Fernerung des Blickpunktes associirt sich, wie im Cap. XI näher zu erörtern ist, die Accommodation für die Nähe oder Ferne und die Verengerung oder Erweiterung der Pupille. Ueber die Geschwindigkeit dieser Binnenbewegungen des Auges sind von Volkmann, Vierordt und Donders Untersuchungen angestellt worden.

Volkmann [1] fixirte mit einem Auge durch zwei Kartenlöcher von 2 mm. Distanz abwechselnd zwei Stecknadeln, deren eine 6, die andere 11 Zoll vom Auge entfernt war, und konnte so in Zeit von einer halben Minute 20 Accommodationsbewegungen ausführen, wobei ihm das Verschwinden der Diplopie als Kriterium der genauen Accommodation diente.

Vierordt [2] maass mit Hülfe eines Hipp'schen Chronoskops die Zeit, welche verging, wenn er von der einäugigen Betrachtung eines scharf gesehenen 18 Meter entfernten Objectes zur Betrachtung eines näheren in derselben Richtung gelegenen weissen Fadens (oder um-

1 Volkmann l. c. S. 309.
2 Vierordt, Grundriss der Physiologie S. 425. 1877.

gekehrt) überging und das völlige Verschwinden der anfangs auftretenden Zerstreuungskreise abwartete.

Abstand des nahen Objectes vom Auge in Ctm.	Zeiten in Secunden für die Accommodation.	
	Fern auf Nah.	Nah auf Fern.
10	1,18	0,84
11	0,94	0,66
12	0,83	0,57
14	0,77	0,52
16	0,64	0,46
22	0,60	0,44
28	0,49	0,39
34	0,43	0,37
40	0,30	0,29
52	0,24	0,22
64	0,20	0,15

Die Accommodation von Nah auf Fern geschah mithin viel schneller als die von Fern auf Nah.

Betreffs der, die Accommodationsänderungen begleitenden Pupillenänderungen fand DONDERS[1], dass die ersteren den letzteren etwas vorausgehen, und dass er durch abwechselndes Accommodiren für Nah und Fern bis dreissigmal in der Minute die Pupille „zu starker Contraction und Dilatation bringen konnte.“ —

Bei seinen Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Blickbewegung erhielt LAMANSKY auch Aufschlüsse über die Form der Bahn, welche die Gesichtslinie auf dem ebenen Gesichtsfelde zurücklegte. Es erforderte, selbst wenn die Marken in einer Horizontale lagen, einige Uebung, „um die Nachbilder in eine gerade Linie zu bekommen“, vielmehr bildeten sie anfangs „kleine Bogen“. Bei den schrägen Bewegungen „bildeten die Nachbilder krumme Linien, welche für alle schrägen Bewegungen nach innen concav nach innen, für alle schrägen Bewegungen nach aussen concav nach aussen“ waren. Hieraus schliesst LAMANSKY, dass die Gesichtslinie bei der Ueberführung von einem Punkte zum andern keine Ebene durchlief und dass die Bahnen, welche die Gesichtslinie auf der Tafel beschrieb, eine der Krümmung der Nachbildreihe entgegengesetzte Krümmung hatten. Dieser Schluss ist jedoch nur für den Fall bindend, dass der Anfangs- und Endpunkt der Bewegung in einer durch die Primärstellung der Gesichtslinie gehenden Ebene lagen (s. u.). Denn wenn die Gesichtslinie bei LAMANSKY's Versuchen zwar eine

---

1 DONDERS, Die Anomalien der Refract. u. Accommod. § 43. 1866.

ebene Bahn durchmass, das Auge aber zugleich eine Rollung um die Gesichtslinie erfuhr, so musste die Nachbildreihe auch krummlinig werden. Angenommen aber, dass die Krümmungen der Nachbildreihe im Wesentlichen auf der Krümmung der Bahn der Gesichtslinie beruhten, bestätigen die Versuche LAMANSKY's die Ergebnisse, welche schon früher WUNDT[1] nach einer andern Methode erhalten hat. Derselbe fand, dass die Gesichtslinie beim Blicken nach oben und unten, rechts und links auf einer der Frontalebene parallelen Verticalebene geradlinige Bahnen, bei allen schrägen Bewegungen aber krummlinige Bahnen beschrieb. Dieselben waren beim Blicken

schräg nach innen und oben: convex nach innen und unten
„ „ „ „ unten: „ „ „ „ oben
„ „ aussen „ oben: „ „ aussen „ unten
„ „ „ „ unten: „ „ „ „ oben.

Dabei war die Krümmung am stärksten, wenn bei aufrechtem Kopfe die Blickbahn um 45° zum Horizont geneigt war.

Gleichgiltig war dabei, ob die Gesichtslinie aus der (ungefähren) Primärstellung oder aus einer beliebigen anderen Stellung ihre Bewegung begann.

WUNDT's Methode ist folgende: Ein Bogen Papier wird in quadratische Felder getheilt und jedes derselben mit einer Zahl, einem Buchstaben oder einem anderen Merkpunkte versehen. Die Merkpunkte müssen so gewählt werden, dass sie bei raschem Ueberfliegen leicht erkannt und nachher leicht wieder aufgefunden werden können. Man fixirt nun zunächst bei geradeaus gerichtetem Blicke einen dieser Punkte, während man das Papier in eine auf der Gesichtslinie senkrechte Ebene und in bestimmten Abstand vom Auge hält; zugleich merkt man sich einen anderen Punkt, den man eben noch im indirecten Sehen beobachten kann, und auf den man die Sehaxe überzuführen gedenkt; es ist gut diesen Punkt noch mit einem besonderen Zeichen zu versehen, damit man ihn nicht etwa verliere. Geht man nun vom ersten Fixationspunkt in continuirlicher Bewegung zum zweiten über, so ist es nach einiger Uebung leicht möglich, wenigstens einen zwischenliegenden Punkt, der mit der Gesichtslinie überfahren wird, wahrzunehmen; macht man daher denselben Weg in derselben Richtung mehrmals nach einander, so kann man leicht mehrere derartige Punkte auffinden, und durch Verbindung derselben erhält man die Curve, welche die bis zur Fläche

1 WUNDT, Zeitschr. f. rat. Med. 3. Reihe. VII. S. 355. 1859 und Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung S. 202. Leipzig 1862.

des Gesichtsfeldes verlängert gedachte Gesichtslinie in diesem beschreibt.

Ob der Kopf fixirt war oder nicht, hat WUNDT nicht angegeben.

ZEHNTES CAPITEL.

Die Bewegungen des Augapfels.

I. Vom Drehpunkte des Auges.

Da die hintere Fläche des normalen Augapfels einer Kugelfläche nahe kommt, und die mit Fettgewebe ausgekleidete Orbitalhöhle nothwendig dieselbe Form hat, so liegt es nahe, den Augapfel mit einem Kugelgelenk zu vergleichen und den Krümmungsmittelpunkt der Hinterfläche des Bulbus zugleich als den sowohl im Augapfel wie in der Orbita festliegenden Drehpunkt anzusehen. Indessen ist erstens das Fettpolster der Orbita viel zu nachgiebig, als dass eine Drehung um einen excentrischen Punkt des als sphärisch gedachten Bulbus oder eine Verschiebung des ganzen Bulbus bei seinen Drehungen ausgeschlossen werden könnte. Zweitens sind die Abweichungen des Bulbus von der Kugelgestalt die Regel und bei vielen ametropischen Augen so erheblich, dass die auf den ersten Blick ansprechende Annahme eines festen Drehpunktes alle Wahrscheinlichkeit verliert. Hat der Augapfel die Form eines Ellipsoides, so sind kleine Verschiebungen des ganzen Bulbus während seiner Drehungen von vornherein höchst wahrscheinlich, weil jede Drehung des Augapfels zugleich eine Veränderung der Form seiner Höhle bedingt und kein Grund zu der Annahme vorliegt, dass die Widerstände, welche dieser Formveränderung entgegenstehen, gerade so angeordnet seien, dass daraus eine Fixirung des Drehpunktes resultiren müsste.

Es fragt sich also, ob alle Axen, um welche sich der Augapfel drehen kann, seien sie feste oder augenblickliche, sich in einem und demselben Punkte des Augapfels schneiden, und ob dieser Punkt zugleich eine unveränderliche Lage in der Orbita hat oder nicht. Es könnte ersteres der Fall sein, ohne dass zugleich das letztere statthat, d. h. es könnte einen im Augapfel unveränderlichen Drehpunkt geben, aber der ganze Augapfel könnte sich während der Drehung sammt seinem Drehpunkte in der Orbita verschieben. Diesenfalls

würde also der im Augapfel feste Drehpunkt im Raume d. i. hier in der Orbita wandern. Oder es könnte umgekehrt der Drehpunkt des Augapfels eine feste Lage in der Orbita haben, aber der Augapfel könnte sich während seiner Drehung relativ zu diesem festen Punkte der Orbita verschieben: dann würde der Drehpunkt zwar in der Orbita festliegen, aber im Auge wandern. Bei den im Auge gegebenen Verhältnissen ist es jedoch vornherein das bei Weitem Wahrscheinlichste, dass es weder im Augapfel noch in der Orbita einen eigentlichen Drehpunkt giebt. Freilich lässt sich auch anderseits vorhersagen, dass die Annahme eines in beiden Beziehungen festen Drehpunktes wenigstens für das annähernd kugelig gebaute Auge gewiss nicht weit von der Wahrheit entfernt ist.

Wenn es weder im Auge noch in der Orbita einen festen Drehpunkt giebt, so heisst dies soviel, als dass sich nicht sämmtliche überhaupt mögliche Drehungsaxen des Auges in einem Punkte des Bulbus oder der Orbita schneiden. Denken wir uns zwischen zwei beliebig im Bulbus gelegene, sich nicht schneidende Drehungsaxen desselben die kürzeste Linie gelegt, welche überhaupt von einem Punkte der einen zu einem Punkte der andern gezogen werden kann, so steht diese Linie auf beiden Axen senkrecht. Eine solche Linie heisse eine interaxiale. Verbinden wir jede einzelne mögliche Drehungsaxe des Bulbus mit jeder anderen möglichen Axe, so erhalten wir eine unendliche Anzahl solcher interaxialer Linien. Wenn nun, wie dies im Auge aller Wahrscheinlichkeit nach der Fall ist, alle diese interaxialen Linien des Bulbus nur einen sehr kleinen Raum in demselben einnehmen, welcher der interaxiale Raum des Bulbus heissen möge, so können wir sagen, das Auge drehe sich annähernd um einen im Auge festen Drehpunkt. Analog können wir auch für alle möglichen durch die Orbitalhöhle gelegten Drehungsaxen den interaxialen Raum der Orbita suchen; auch dieser würde aller Wahrscheinlichkeit nach sehr klein sein, so dass wir auch sagen können, das Auge drehe sich um einen annähernd festen Punkt der Orbitalhöhle.

Verschiebungen des ganzen Augapfels sind zuerst von J. J. Müller[1] mit Hilfe eines weiter unten zu beschreibenden Spiegelapparates beobachtet worden. Er fand, „dass mit dem Bestreben, die Lidspalte möglichst weit zu öffnen, der Bulbus aus der Orbita hervortritt". Dieses Hervortreten erfolgt sehr rasch und verschwindet ebenso beim Nachlass der energischen Contraction des levator palp.

---

1 J. J. Müller, Arch. f. Ophthalmologie XIV. (3) S. 205. 1868.

super. Bei Primärstellung konnte es bis reichlich 1 mm. gesteigert werden. Bei median- oder lateralwärts gewandter Gesichtslinie war das Vortreten merklich kleiner; ebenso nahm es mit der Hebung der Blickebene ab und verschwand bei der stärksten Hebung gänzlich. Bei gesenkter Blickebene nahm es eher zu als ab. Das Vortreten zeigte sich auch dann, wenn die Oeffnung der Lidspalte trotz der stärkeren Innervation nicht grösser wurde, blieb aber aus, wenn das obere Lid künstlich gehoben resp. in die Orbita hineingeschoben wurde.

DONDERS[1] bestätigte die Angaben MÜLLER's, indem er die Lage des Cornealprofils mittels des Ophthalmometers controlirte. Er fand, dass der Augapfel nicht nur bei stärkerer Oeffnung der Lidspalte hervortritt, sondern auch bei Verengerung der Lidspalte etwas zurückweicht. Letzteres war auch beim Nicken der Fall.

Es betrug bei vier verschiedenen Personen

das Vortreten des Bulbus:	0,86; 0,37; 0,80; 0,80 mm.
das Zurücktreten desselben:	0,41; 0,41; 0,66; 0,59 mm.
die ganze Lageänderung:	1,27; 0,78; 1,46; 1,39 mm.

BERLIN[2] fand nach einer anderen, unten zu erörternden Methode, wenn er, von der gewohnheitsmässigen Oeffnung der Lidspalte ausgehend, diese Oeffnung möglichst steigerte, für sein linkes Auge ein Vortreten um 0,677 mm., für das rechte um 0,652 mm. Ueberdies beobachtete er, wenn er bei Primärstellung eine Nadelspitze auf den Zerstreuungskreis eines ferneren Punktes visirte, bei weiterer Oeffnung der Lidspalte eine Verschiebung der Nadelspitze nach oben in Bezug auf den Zerstreuungskreis, woraus er schliesst, dass das Auge sich dabei etwas nach unten verschob. Nach seinen Messungen betrug die Verschiebung für das linke Auge 0,567 mm., für das rechte 0,689 mm. Diese Verschiebung nahm ab bei Seitwärtswendung des Blickes nach beiden Richtungen, ebenso beim Blick nach oben. Beim Blicken nach unten nahm sie bis zu 17° Neigung der Blickebene zu, um weiterhin wieder abzunehmen. Bei erhobenem Blicke trat bei leichtem Schlusse des Lides eine geringe Verschiebung des Bulbus nach oben ein, welche sich in geringerem Grade auch bei horizontaler und gesenkter Blickrichtung zeigte, bei 20° Senkung jedoch ganz verschwand. Endlich fand BERLIN nach derselben Methode eine sehr kleine seitliche Verschiebung des Bulbus nach innen im Betrage von 0,15—0,175 mm., wenn er bei Primärstellung die Lidspalte stark erweiterte; dieselbe nahm bei nasenwärts ge-

1 DONDERS, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (1) S. 99. 1871.
2 BERLIN, ebenda XVII. (2) S. 181. 1871.

richteter Gesichtslinie ab und wurde bei 14—22° Einwärtswendung gleich Null, um darüber hinaus in entgegengesetzter Richtung aufzutreten. Bei Richtung des Blickes um 30—38° nach aussen betrug die Verschiebung 0,175 bis 0,25 mm. im selben Sinne wie bei der Primärstellung.

Diese Beobachtungen veranlassten Berlin zu untersuchen, ob sich auch bei den in gewohnter Weise ausgeführten Blickbewegungen Verschiebungen des ganzen Bulbus nachweisen lassen, wobei er auf einen 10—15 dm. entfernten, horizontalen und der Frontalebene parallelen Faden visirte, hinter welchem die Zerstreuungskreise dreier sehr kleiner, 10—15 Fuss entfernter Spiegel erschienen, deren Mittelpunkte mit dem Faden in einer Ebene lagen. Der mittlere Spiegel entsprach ungefähr der Primärstellung. Für das in dieser Stellung nach dem mittleren Spiegel visirende Auge halbirte der Faden den Zerstreuungskreis des Spiegels. Bewegte sich nun der Blick den Faden entlang nach rechts oder links, so traf er bei einer Wendung von 25°—30° wieder auf den Zerstreuungskreis eines Spiegelchens, und wenn die Hauptvisirlinie bei dieser Bewegung nicht aus der Ebene des Fadens und der Spiegelcentren verschoben worden war, musste wieder der Faden den Zerstreuungskreis des Spiegels halbiren. Dies war jedoch meistens nicht der Fall. Durch verschiedene Drehungen und Neigungen des Kopfes konnten dann die Bewegungen des Blickes in verschiedenen Richtungen und bei verschiedenen seitlichen, hohen oder tiefen Lagen der Blickbahn untersucht werden. Die Fig. 37 zeigt die Abweichung des Zerstreuungskreises vom Faden für das linke Auge, wie sie dem Beobachter erschien. Für das rechte Auge würde das Spiegelbild dieser Figur gelten. Die Richtung und Lage der Linien entspricht der Richtung und Lage des Fadens in Bezug auf den immer aufrecht gedachten Kopf, wenn das auf den Punkt *p* gerichtete Auge in der Primärstellung ist. *A* bedeutet Aussen, *I* Innen. Die Punkte bedeuten die Zerstreuungskreise der kleinen Spiegel. In derselben Richtung wie der Zerstreuungskreis relativ zum Faden verschoben erschien, musste auch eine Componente der Verschiebung des Centrums der Visirlinien erfolgt sein. Die Grösse der Verschiebungen der Zerstreuungskreise relativ zum Bilde

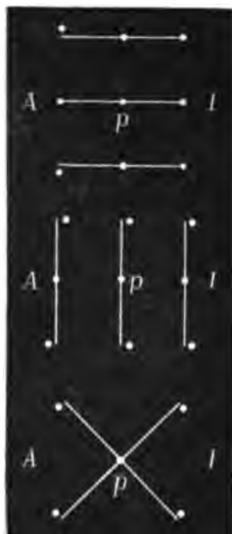


Fig. 37.

des Fadens hat Berlin nicht gemessen. Er ist der Ansicht, dass dieselben aus Verschiebungen des ganzen Bulbus zu erklären seien, und schätzt die letztere auf beiläufig 0,5 mm.

Es muss bemerkt werden, dass wenn während der Bewegung des Blickpunktes entlang dem Faden die festen oder die augenblicklichen Axen der Drehung nicht durch die Hauptvisirlinie selbst gehen, nothwendig kleine Verschiebungen der Zerstreuungskreise in Bezug auf den Faden eintreten müssen, auch wenn es einen festen Drehpunkt giebt. Was Berlin lediglich als Folge einer Verschiebung des Bulbus nahm, ist zunächst und für sich nur ein Beweis für ein Heraustreten des Centrums der Visirlinie aus der Ebene, in welcher der Faden und die Spiegelcentren liegen, womit nicht bestritten werden soll, dass eine Verschiebung des Bulbus die wesentliche Ursache ist.

Nachweis eines Drehpunktes überhaupt. Während man früher sich mit der Annahme begnügte, dass es einen unveränderlichen Drehpunkt des Auges gebe, und sich lediglich damit beschäftigte, den Ort dieses hypothetischen Punktes im Auge zu bestimmen, hat zuerst J. J. Müller experimentell zu entscheiden gesucht, ob überhaupt ein Drehpunkt existirt. Nachher haben Volkmann, Woinow und Berlin dieselbe Frage behandelt. Die Methoden Volkmann's und Woinow's sind im Wesentlichen gleich und zwar die einfachsten, aber minder genau als die Methoden von Müller und Berlin.

Volkmann[1] zog auf einer ebenen Tafel aus einem Punkte derselben eine Anzahl gerader Linien radienartig derart, dass je zwei benachbarte einen Winkel von 10° einschlossen. Auf jeder dieser Linien wurden zwei feine Nähnadeln senkrecht zur Tafel eingesteckt, die eine 8″, die andere 16″ vom Ausgangspunkte der Linien entfernt. An die Stelle dieses Ausgangspunktes der Linien wurde, nachdem das entsprechende Stück des Brettes abgesägt worden war, das Auge des Beobachters gebracht, dessen Kopf fest fixirt war. Es zeigte sich, dass für 10 Beobachter sowohl eine horizontale als eine verticale Stellung der Tafel relativ zum Auge gefunden werden konnte, bei welcher jede zwei, derselben Geraden angehörige Nadeln sich für den Beobachter „deckten“, wenn er auf dieselben visirte. Volkmann schloss hieraus, dass sowohl die Drehung in der horizontalen als in der verticalen Ebene um einen im Auge und im Raume festen Punkt des Augapfels erfolge. Indessen könnte der Versuch, auch wenn man von den relativ grossen Fehlerquellen desselben absehen wollte, streng genommen nur beweisen, dass die Hauptvisirlinie sich

1 Volkmann, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-phys. Cl. 6. Febr. 1869.

sowohl in horizontaler als in verticaler Richtung um einen relativ zur Orbita festen Punkt drehte, welcher auf der Hauptvisirlinie selbst lag. Im Augapfel konnte dabei der Drehpunkt seine Lage stetig ändern. Denn eine Gerade kann sich um einen im Raume festen Punkt drehen und doch während dieser Drehung im Drehpunkte vorwärts oder rückwärts gleiten.

Es seien die Geraden $d\gamma$, dg und $d\gamma'$ in der Fig. 38 drei Lagen der Hauptvisirlinie, und k, c, k' die zugehörigen Lagen des auf der Hauptvisirlinie gedachten geometrischen Mittelpunktes des Augapfels, so zeigt die Figur, dass während die Hauptvisirlinie sich aus der Lage $d\gamma$ in die Lage $d\gamma'$ um den im Raume festen Punkt d dreht, sie doch durch diesen Punkt erst vorwärts dann wieder rückwärts gleitet und der mit ihr verbundene Augapfel sich erst nach vorn und dann wieder nach hinten verschiebt.

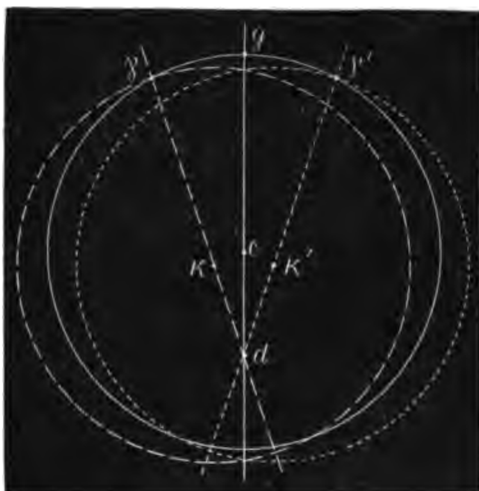


Fig. 38.

Wenn übrigens bei dem beschriebenen Versuche VOLKMANN's sich nicht alle Nadelpaare gedeckt hätten, so hätte dies, wie BERLIN [1] hervorhob, nichts gegen die Existenz eines festen Drehpunkts bewiesen; denn wenn derselbe nicht auf der Hauptvisirlinie liegt, können sich auch nicht alle Lagen der letzteren in einem Punkte schneiden, sondern müssen nur sämmtlich eine Kugel tangiren, die den festen Drehpunkt zum Centrum und den Abstand desselben von der Hauptvisirlinie zum Radius hat, wie Fig. 39 zeigt, in welcher f den Drehpunkt, $g\,g$, $\gamma\,\gamma$, $\gamma'\,\gamma'$ die Hauptvisirlinie bedeuten.

Ebensowenig streng wie die Versuche VOLKMANN's beweisen die ähnlichen Versuche WOINOW's [2] die Existenz eines zugleich im Augapfel und in der Orbita festliegenden Drehpunktes. WOINOW untersuchte seine Augen nach einer von HELMHOLTZ angegebenen Methode. „Auf einer horizontalen Tischplatte wurde ein Blatt Papier aufgespannt und am Rande des Tisches eine Vorrichtung für ein Zahnbrettchen angebracht und sodann ein Lineal von 20 mm. Breite und 640 mm. Länge dem Auge gegenüber in gewisser Entfernung einge-

1 BERLIN, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (2) S. 157. 1871.
2 WOINOW, ebenda XVI. (1) S. 247. 1870.

stellt. Auf dem Lineal waren feine parallele Striche mit Zwischenräumen von 20 mm. vertical zur Fläche des Tisches gezogen. Hierauf schloss er das eine Auge und nahm ein anderes ähnliches Lineal von 10 mm. Breite und 400 mm. Länge mit ähnlichen Strichen von nur 10 mm. Zwischenräumen zur Hand und bemühte sich, es vor sich so auf den Tisch zu stellen, dass alle Striche desselben bei allen Blickrichtungen in der gegebenen Ebene mit den entsprechenden Strichen des andern entfernteren Lineals zusammenfielen". Bei horizontalen Blickbewegungen fand ein vollkommenes Zusammenfallen der entsprechenden Striche beim strengsten Parallelismus der beiden Lineale statt. Um zu untersuchen, wie sich die Bewegungen des Blickes auf anderen Ebenen verhalten, drehte er das Zahnbrettchen und folglich auch den Kopf nach verschiedenen Richtungen, ohne jedoch die Stellung der Tischebene zu ändern. Hierauf bemühte er sich abermals, das Lineal in der vorher erwähnten Weise aufzustellen.



Fig. 39.

Bei allen diesen Versuchen, sowie auch bei denjenigen, wo die Bahnebene der Gesichtslinie unter verschiedenen Höhen- und Seitenwendungswinkeln stand, beobachtete er, dass das Zusammenfallen der entsprechenden Striche der Lineale nur bei vollkommenem Parallelismus derselben stattfand. Hieraus schloss Woinow, „dass es für jede einzelne Ebene der Blickbewegung einen festen Drehpunkt gebe". Um nun zu beweisen, dass dieser Drehpunkt für alle Ebenen der Blickbewegung derselbe sei, spannte er auf eine verticale Wand ein grosses Blatt Papier, auf dem parallele, verticale und horizontale Linien mit Zwischenräumen von 40 mm. in der Weise gezogen waren, dass das ganze den Linien eines Schachbrettes ähnlich war. Sodann stellte er sich vor die Wand und bemühte sich, bei fester Fixation des Kopfes und bei Schluss des einen Auges einen Rahmen mit aufgespannten horizontalen und verticalen Fäden von 20 mm. Zwischenraum so einzustellen, dass alle Fäden mit den

entsprechenden Linien des Papiers bei allen Blickrichtungen zusammenfielen, was denn auch möglich war.

Die Weite der Fehlergrenzen sind weder für VOLKMANN's noch für WOINOW's Methode bestimmt worden. Wir könnten aus ihren Versuchen, soweit die Fehlergrenzen das gestatten, nur den Schluss ziehen, dass der Augapfel sich um einen in der Orbita festliegenden Punkt dreht, und dass die Hauptvisirlinie bei allen Stellungen des Auges durch diesen Punkt geht. Inwieweit dieser Drehpunkt auch im Auge festliegt, ist aus den Versuchen nicht ersichtlich.

J. J. MÜLLER [1] benutzte eine von FICK angegebene Methode. Er meinte „am unmittelbarsten führe zum Entscheide, ob es einen Drehpunkt gibt, die Ermittelung der Bahn, welche irgend ein bestimmter Punkt der Cornea während der Bewegung des Bulbus durchläuft." [2] „Die Form der Bahn entscheide ganz unmittelbar die Frage, ob die Drehung des Hornhautpunktes um einen festen Punkt herum stattgefunden hat oder nicht. Im vorliegenden Falle erzeuge eine solche und nur eine solche Bewegung eine kreisförmige Bahn des Punktes." [3] MÜLLER's Methode gestattete nun, den jeweiligen Ort des Durchschnittspunktes der Hauptvisirlinie und der vorderen Cornealfläche auf eine der horizontalen Bahnebene jener Linie parallele Ebene zu projiciren und so eine aus einer Reihe einzelner Punkte bestehende Projection der Bahn jenes Cornealpunktes zu gewinnen, welche Projection der Form der wirklichen Bahn congruent war. Für diese experimentell gewonnene Punktreihe suchte er „probeweise den Punkt der Zeichnungsebene und den Radius auf, welche einen Kreisbogen lieferten, in den die Punkte entweder fielen oder zu dessen Seiten sie sich möglichst gleichmässig vertheilten." Diesen Punkt nahm er für die Projection des Drehpunktes.

Nun ist es zwar richtig, dass wenn das Auge sich um einen im Raume und im Augapfel festen Punkt dreht, jeder beliebige Punkt des Augapfels dabei einen Kreisbogen beschreiben muss; aber man darf nicht, wie dies MÜLLER that, diesen Satz umkehren. Denn ein bestimmter Punkt des Augapfels, z. B. der Durchschnittspunkt der Hauptvisirlinie und der vorderen Cornealfläche kann sehr wohl einen Kreisbogen beschreiben, während der Drehpunkt im Auge wandert. Fig. 38 liefert hierfür ein Beispiel. Ist $\gamma g \gamma'$ die kreisförmige Bahn des genannten Cornealpunktes, so zeigt die Figur, dass der im Raum festliegende Drehpunkt *d* seine Lage im Augapfel während der Be-

1 J. J. MÜLLER, Arch. f. Ophthalmologie XIV. (3) S. 183. 1868.
2 l. c. S. 191.
3 l. c. S. 204.

wegung fortwährend ändert, d. h. dass der Augapfel sich relativ zu diesem Drehpunkt stetig verschiebt, was soviel bedeutet, als dass der Drehpunkt im Auge wandert. Es ist aber auch der noch verwickeltere Fall möglich, dass, während der Cornealpunkt einen Kreisbogen beschreibt, weder ein im Auge noch ein im Raume fester Drehpunkt existirt.

Durch den theoretischen Irrthum Müller's wird übrigens der Werth seiner Beobachtungen nicht beeinträchtigt, weil durch seine Methode zugleich die jeweilige Lage der Hauptvisirlinie gegeben wird.[1] Die Projectionen dieser Linie auf die der Bahnebene parallele Ebene durchschnitten sich, wie er angibt, entweder fast alle in einem Punkte oder „schlossen sich einem kleinen Kreise um denjenigen Punkt herum an"[2], welcher zugleich der Krümmungsmittelpunkt des vom Cornealpunkte beschriebenen Kreisbogens war. Wenn aber eine im Augapfel feste Gerade (die Hauptvisirlinie) bei den Bewegungen des Auges eine Ebene beschreibt und dabei in allen Lagen einen im Raume festliegenden Kreis tangirt oder durch einen im Raum festen Punkt geht, und zugleich ein bestimmter Punkt der Geraden (der Cornealpunkt der Hauptvisirlinie) einen Kreisbogen beschreibt, der mit jenem Kreise concentrisch ist oder jenen Punkt zum Krümmungsmittelpunkt hat, so ist der Krümmungsmittelpunkt des Kreisbogens der zugleich im Raume und im Augapfel feste Drehpunkt für die bezügliche Bahnebene der Geraden.

Müller untersuchte bei horizontaler Bahnebene der Hauptvisirlinie und verschiedenen Neigungen des Kopfes zu dieser Horizontalebene. Wir dürfen aus seinen Beobachtungen schliessen, dass sich sein Auge bei diesen Bewegungen wirklich um einen sowohl im Raume als im Augapfel annähernd festen Punkt drehte. Aber dieser Punkt hatte, wie Müller fand, nicht für alle Neigungen der Bahnebene zum Kopfe dieselbe Lage im Augapfel.

Die Projectionen der Hauptvisirlinie und ihres Durchschnittspunktes mit der vorderen Cornealfläche auf eine, der Bahnebene jener Linie parallele Ebene gewann Müller auf folgende Weise: Zwei verticale, unter 45° Neigung zu einander fest verbundene Spiegel (*I* und *II*, Fig. 40) werden je mit einer verticalen Linie versehen (deren Durchschnitte *P'* und *P''* darstellt), und so vor dem eignen Auge (*A A'*) angebracht, dass der eine Spiegel (*I*) auf der lateralen Seite der Hauptvisirlinie, der andere (*II*) schräg vor dem Auge steht. Unter diesen Umständen kann das Auge

1 Ganz streng genommen ist allerdings auch dies nicht der Fall, weil die Projection der Hauptvisirlinie auf die Horizontalebene keinen Aufschluss über etwaige Verschiebungen dieser Linie in verticaler Richtung giebt.

2 l. c. S. 209.

sein Bild ($B\,B'$) im Profil sehen. Werden dann weiter die Spiegel so eingestellt, dass die Linie (P'') des schräg vor dem Auge stehenden Spiegels (II) und das von letzterem entworfene Bild (b) der Linie (P') des andern Spiegels sich für das beobachtende Auge decken, und dieses Deckbild an den cornealen Rand des ocularen Bildes ($B\,B'$) tangirt, so ist der Ort bekannt, wo der Durchschnittspunkt (A) der Hauptvisirlinie mit der Cornea liegt. Die Linie $A'B$ ist bekannt, weil der Punkt P'' gegeben und der Punkt b, in welchem das Spiegelbild des Punktes P' liegt, aus der gegebenen Lage des letzteren zu finden ist. Eine kurze geometrische Betrachtung ergiebt ferner, dass ein von P' auf die Linie $A'AB$ gefälltes Loth letztere Linie im Punkte A, d. i. der gesuchte Punkt, treffen muss. Stehen die verticalen Spiegel auf einem horizontalen Planum, so lassen sich die zur Construction des Punktes A nöthigen Punkte und Linien auf dem Planum so wie in Fig. 40 markiren, um so den senkrecht unter dem Cornealpunkte A liegenden Punkt des Planums finden. Giebt man bei fixirtem Kopfe der Hauptvisirlinie verschiedene Stellungen innerhalb der Horizontalebene, und bestimmt für jede Stellung die Lage jenes Punktes, so erhält man eine Punktreihe, welche die Projection der Bahn des Cornealpunktes A darstellt.

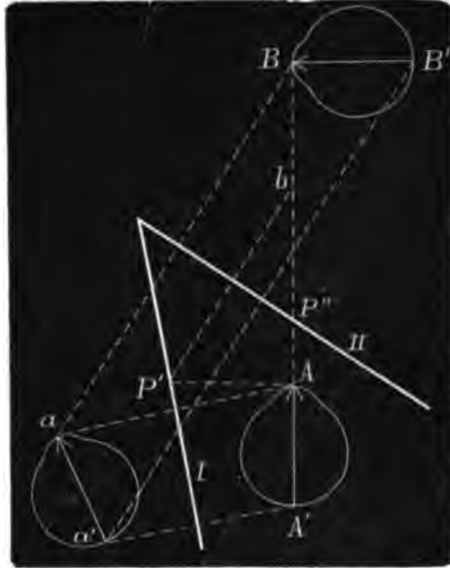


Fig. 40.

Berlin [1] hielt die Methoden Volkmann's und Woinow's, welche die jeweilige Lage der Hauptvisirlinie mit Hilfe der Deckung dunkler linearer Objecte controlirten, für nicht hinreichend genau und benutzte deshalb beim Visiren als fernere Objecte kleine Flammen und als nähere Objecte eine Nadel oder eine feine Spitze. Ausser der Lage der Hauptvisirlinie bestimmte er zugleich die Lage je einer indirecten zweiten Visirlinie und auf diese Weise die jeweilige Lage des Centrums der Visirlinien. Da jene zweite Visirlinie durch indirectes Sehen bestimmt werden musste, so benutzte er hier als näheres, die Flamme deckendes Object nicht eine Nadel oder Spitze, sondern die Kante eines dunklen Schirmes, den er bald von der

1 Berlin, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (2) S. 150. 1871.

einen bald von der anderen Seite her so weit verschob, bis die indirect gesehene Flamme verschwand. Das Mittel der beiden Stellungen der deckenden Kante diente nebst dem Orte der Flamme zur Lagebestimmung der bezüglichen indirecten Visirlinie.

Sind W und V (Fig. 41) zwei leuchtende Punkte, N und L zwei Nadelspitzen, P und P' das Centrum der Visirlinien, so werden, wenn die Hauptvisirlinie in PW liegt, sowohl N und W als L und V sich decken. Wird dann der Blick bei fixirtem Kopf auf V gerichtet und liegt nun die Hauptvisirlinien in $P'V$ und das Centrum der Visirlinie in P', so wird V nicht mehr von L, und W nicht mehr von N gedeckt erscheinen, vielmehr muss L nach R und N nach K verschoben werden, damit dies der Fall ist. Sind die Punkte W, V, N, K, L und R bekannt, so lassen sich daraus die beiden Lagen NW und RV der Hauptvisirlinie und mit Hilfe der beiden indirecten Visirlinien LV und KW die beiden Lagen P und P' des Kreuzungspunktes der Visirlinien bestimmen. Ferner lässt sich der Durchschnittspunkt O der beiden Lagen PW und $P'V$ der Hauptvisirlinie und endlich der Abstand der beiden Orte P und P' des Centrums der Visirlinien vom Punkt O finden. Wird in dieser Weise eine grössere Anzahl verschiedener Lagen der Hauptvisirlinie und des Centrums der Visirlinien in einer Bahnebene bestimmt, zeigt sich dabei, dass die verschiedenen Orte des letzteren einem Kreisbogen angehören und dass sämmtliche Lagen der Hauptvisirlinie sich im Krümmungsmittelpunkte dieses Bogens durchschneiden oder wenigstens einen mit diesem Kreisbogen concentrischen Kreis tangiren, so hat sich das Auge bei der bezüglichen Bewegung um den Krümmungsmittelpunkt jenes Kreisbogens als um einen im Auge und im Raume festen Punkt gedreht. Schneiden sich die Lagen der Hauptvisirlinien nicht in einem Punkte, sondern tangiren einen Kreis, so liegt dabei der feste Drehpunkt ausserhalb der Hauptvisirlinie.



Fig. 41.

Berlin ging übrigens ebenso wie Volkmann von der unrichtigen Ansicht aus, dass wenn sich sämmtliche Lagen der Hauptvisirlinie in einem Punkte schneiden, dieser Punkt der im Augapfel feste Drehpunkt sein müsse. Er berechnete aus der Lage der Punkte W, V, N, L und R die Länge der Strecke OP, und wenn er diese für

verschiedene Grössen des Winkels *WOV* gleich gross fand, so schloss er, dass sämmtliche Lagen der Hauptvisirlinie sich in *O* durchkreuzt hätten und dies der feste Drehpunkt sei. Dieser Schluss ist jedoch nur dann zulässig, wenn auch *OP'* stets gleich *OP* gefunden wird, weil dann auch erwiesen ist, dass der Kreuzungspunkt der Visirlinie während der Drehung der Augen einen Kreisbogen beschrieben hat, dessen Krümmungsmittelpunkt in *O* liegt.

Da Berlin der Controle wegen auch die Strecke *OP'* mit bestimmte und sie wenigstens für sein rechtes Auge (Myopie $^1/_{14}$) in zwei für die primäre Blickebene gemachten Bestimmungen gleich *OP* fand, so lässt sich in der That schliessen, dass dieses Auge sich in dieser Bahn um eine im Raum und im Auge feste Axe drehte. Für das linke Auge (Myopie $^1/_{30}$) nahm bei Bewegungen in der primären Blickebene die Grösse von *OP* um so mehr ab, je weniger nach links oder je weiter nach rechts die zur Bestimmung benutzte seitliche Lage (*RV*) der Hauptvisirlinie von der Primärstellung abwich, während *OP'* umgekehrt zunahm. Hieraus schloss Berlin, dass der feste Drehpunkt nicht auf der Hauptvisirlinie selbst, sondern etwas abseits von derselben lag. Doch betrug dieser Abstand nach seiner Berechnung höchstenfalls nur 0,6 mm.

Der Ort des Drehpunktes im Augapfel. Die Methoden, deren sich Müller und Berlin zur Untersuchung der Frage bedienten, ob es überhaupt einen Drehpunkt giebt, gestatteten bejahenden Falls zugleich die Bestimmung von dessen Ort im Auge.

Müller fand bei aufrechtem Kopfe und bei Bewegungen des Blickes in der Horizontalebene in verschiedenen Versuchsreihen für den Abstand des Drehpunktes vom Durchschnittspunkte der Hauptvisirlinie mit der vorderen Cornealfläche Werthe, welche für das linke Auge (Myopie $^1/_{10}$) zwischen 14,2 und 15 mm. schwankten und als wahrscheinlichen Werth 14,56 mm. Für das rechte Auge (Myopie $^1/_{10'}$) schwankte dieser Werth zwischen 13 und 13,6 mm. und der wahrscheinliche Werth betrug 13,19 mm. Wurde der Kopf so weit nach vorn geneigt, dass die Neigung der horizontalen Blickebene relativ zur Frontalebene 20° betrug, so war der wahrscheinliche Werth für das linke Auge 15,16 mm., für das rechte 13,29 mm.; bei Senkung der Blickebene um 20° relativ zum Kopfe für das linke Auge 14,34 mm., für das rechte 12,87 mm.

Es ergab sich also für Müller, dass der Drehpunkt für Horizontalbewegung sich umsomehr vom Scheitel der Cornea entfernte, je stärker die Blickebene gehoben war.

Berlin bestimmte, wie oben auseinandergesetzt wurde, den Ab-

stand des Drehpunktes vom Centrum der Visirlinien oder von der Pupillarebene. Den Abstand des Cornealpols von dieser Ebene nahm er gleich 3,2 mm. und erhielt so für sein linkes Auge (Myopie $^1/_{30}$) bei aufrechtem Kopf und horizontaler Blickebene im Mittel 14,41 mm. als Abstand des Drehpunktes vom Cornealpol, für das rechte Auge (Myopie $^1/_{14}$) 14,66 mm.; bei Hebung der Blickebene um 22° für das linke Auge 14,81 mm., für das rechte 15 mm.; bei Senkung der Blickebene um 20° für das linke Auge 14,32 mm., für das rechte 14,19 mm. Dabei ist zu bemerken, dass nach Berlin's Berechnung der Drehpunkt im linken Auge nicht auf der Hauptvisirlinie lag, sondern für horizontale Blickebene 0,541 mm., für 22° Hebung derselben 0,652 mm., für 20° Senkung 0,281 mm. von jener Linie medianwärts abstand.

Diese Ergebnisse stimmen, wie die obigen Zahlen lehren, mit denen Müller's insofern überein, als auch dieser fand, dass der Drehpunkt sich um so mehr vom Cornealpol entfernt, je stärker die Blickebene gehoben ist. Für verticale Bewegungen des Blickes fand Berlin Werthe, welche im Mittel um 1,56 mm. kleiner waren, was er als Folge einer Verschiebung des Bulbus nach vorn betrachtet, welche bei der mit stärkerer Oeffnung der Lidspalte einhergehenden Hebung des Blickes eintrete.

Was die mechanischen Erklärungen betrifft, welche Müller und Berlin für die Lageänderungen des Drehpunktes bei verschiedener Hebung der Blickebene gegeben haben, so muss auf die citirten Abhandlungen derselben verwiesen werden, um so mehr als, wie aus den oben gemachten Andeutungen hervorgeht, die experimentellen Befunde theilweise eine andere Deutung zulassen, als ihnen von ihren Autoren gegeben wurde.

Volkmann[1] suchte, nachdem er durch die oben beschriebenen Versuche zur Ueberzeugung von der Existenz eines Drehpunktes gekommen war, dessen Lage im Auge auf folgende Weise zu bestimmen:

„Wenn ein mobiler Radius *ac* sich um den festen Punkt *c* dreht, so genügt es, den Winkel *x* des von ihm beschriebenen Bogens und die Sehne *ab* des letzteren zu kennen, um die Länge des Radius zu berechnen. Sie ist gleich dem Quotienten aus der halben Sehne durch den Sinus des halben Winkels." Die Strecke zwischen der Mitte der Pupille und dem Drehpunkte *c* des Auges diente als der mobile Radius, und es galt nun, für eine Drehung der Hauptvisirlinie, deren Winkel bekannt war, die Sehne des Bogens zu bestimmen, welchen dabei die Mitte der Pupille beschrieb. Zu diesem Zweck stellte Volkmann dem Auge gegenüber in einer Entfernung von un-

1 Volkmann l. c. S. 32.

gefähr 3 Meter ein Fernrohr auf, welches um das 25fache vergrösserte und mit einem Ocularmikrometer versehen war. Mit Hülfe dieses Instrumentes bestimmte er die Zahl der Theilstriche, durch welche der Mittelpunkt der Pupille bei einer Drehbewegung des Auges, deren Winkelgrösse durch die beiden Endlagen der Hauptvisirlinie gegeben war, hindurchgeht. Da er den Werth der Theilstriche für die Entfernung des Instrumentes vom Auge im voraus ermittelt hatte, so war mit der Zahl der Theilstriche die Grösse der fraglichen Sehne ohne weiteres gegeben.

Aus der so gefundenen Sehne und dem Winkel der Drehung bestimmte er den Abstand der Pupillenmitte vom Drehpunkte und addirte dazu, um den Abstand des letzteren vom Cornealpole zu finden, 2,36 mm. als den Abstand zwischen Hornhautpol und scheinbarer Pupillarebene. Es ergab sich ihm für horizontale Drehung als Mittel aus 51 Beobachtungen an 10 Personen 13,61 mm., für verticale Drehungen als Mittel aus 43 Beobachtungen an 10 Personen 13,37 mm., als Gesammtmittel aller Beobachtungen 13,54 mm. Ueber die Beschaffenheit der Augen der einzelnen Personen hat Volkmann nichts mitgetheilt. Für jede Person wurden Bestimmungen bei verschiedenen Grössen des Winkels der Drehung gemacht; die sich dabei ergebenden Verschiedenheiten der Werthe betrugen im ungünstigsten Falle nur 1,1 mm.

Diese Bestimmungen Volkmann's könnten nur dann strengere Gültigkeit haben, wenn die Voraussetzung eines festen Drehpunktes richtig wäre und wenn dieser Drehpunkt auf der Pupillaraxe läge.

Woinow[1] bestimmte den Ort des Drehpunktes folgendermaassen. Nachdem er sein Auge in diejenige Lage zu den oben S. 457 erwähnten Linealen gebracht hatte, bei welcher die Theilstriche des näheren sich mit denen des ferneren deckten, und nun in bestimmter Richtung visirte, wurde von einem Assistenten ein Fernrohr seitlich von seinen Augen so eingestellt, dass der Verticalfaden des Fadenkreuzes den Scheitel der Hornhaut (welche der Assistent im Profil sah) zu tangiren schien. Nachdem dies geschehen war, brachte Woinow eine Nähnadel an die Stelle, wo sich zuvor sein Auge befand, und bewegte dieselbe in der Richtung seines früheren Visirens hin und her, bis die Nadel dem Assistenten mit dem Faden des unverrückten Fernrohres zusammenzufallen schien. Jetzt ging die Nadel durch den Punkt, an welchem zuvor der Hornhautscheitel gelegen hatte. Aus der Entfernung der Nadel von dem in der Richtung des

1 Woinow, Arch. f. Ophthalmologie XVI. (1) S. 249. 1870.

Visirens liegenden Striche des Lineals und der Entfernung desselben Striches von dem entsprechenden Striche des zweiten entfernteren Lineals liess sich durch die Abziehung der ersten Grösse von der zweiten der Abstand des Drehpunktes vom Scheitel der Cornea finden. Diese Methode führte Woinow zu dem Schlusse, dass der Drehpunkt seines rechten Auges 14,0 mm. und der des linken 14,1 mm. vom Scheitel der Cornea entfernt waren. Da die Länge der Augenaxe für Woinow's Auge nach seiner Angabe 21,826 mm. (bis zur empfindlichen Schichte der Netzhaut) beträgt, so wäre der Abstand des Drehpunktes vom hinteren Pole des Auges 7,85 mm.

Ausserdem bestimmte Woinow[1] nach einer der Berlin'schen ganz analogen, aber ohne Kenntniss der letzteren ersonnenen Methode den Abstand zwischen dem Centrum der Visirlinien und dem Drehpunkte seines Auges, indem er letzteren auf der Hauptvisirlinie annahm. Er fand diesen Abstand zwischen 10,97 und 11,05 mm. schwankend und bezieht diese Schwankungen auf Lageänderungen der scheinbaren Pupillarebene während der Accommodation. Nach der erstbeschriebenen Methode hatte Woinow den Drehpunkt 14 mm. hinter dem Hornhautpole gefunden; es müsste also der Abstand des Hornhautpoles von der scheinbaren Pupillarebene mit 3 mm. angenommen werden, um das Ergebniss der zweiten Methode mit dem der ersten in Einklang zu bringen.

Weiss[2] untersuchte nach einer im Principe schon von Junge[3] und von Donders[4] angewandten Methode, welche auf der Lagebestimmung eines Spiegelbildchens der Cornea bei verschiedenen Stellungen des Auges beruht und ebenfalls die Existenz eines Drehpunktes auf der Hornhautaxe voraussetzt.

Das untersuchte Auge wird so gerichtet, dass die Hornhautaxe in die Axe eines ihm gegenüber liegenden Ophthalmometers zu liegen kommt, wobei das Bild eines dicht über dem Fernrohre des Ophthalmometers befindlichen Lichtes hinter der Mitte der Hornhaut erscheint. Vor dem Auge wird ein verticales Haar aufgespannt, welches ebenfalls durch die Axe der Hornhaut und des Ophthalmometers geht. Dies Visirhaar, welches bei der angegebenen Stellung des Auges fixirt werden muss, wird nun, während ihm das Auge folgt, auf einem horizontalen Gradbogen, dessen Krümmungsmittelpunkt ungefähr in der Mitte des Augapfels liegt, um einen gemessenen Bogen (α) verschoben und mit ihm zugleich das Licht, so dass letzteres immer dieselbe relative Lage zum Auge behält. Das Bildchen des Lichtes erscheint jetzt, durch das Ophthalmometer gesehen, seitwärts,

1 Woinow, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (2) S. 233. 1871.
2 Weiss, ebenda XXI. (2) S. 132. 1875.
3 Junge, Helmholtz's physiol. Optik S. 458.
4 Donders, Die Anom. der Refract. u. Accommod. S. 156. Wien 1866.

und sein Abstand von der Axe des letzteren wird bestimmt, indem der scheinbare Abstand (d) zwischen Bildchen und Haar ophthalmometrisch gemessen wird. Schliesslich wird noch der Krümmungsradius (r) der Hornhaut für deren Scheitelgegend gemessen. Nimmt man nun an, dass der Krümmungsmittelpunkt des oben erwähnten Gradbogens genau im Drehpunkt und letzterer auf der Hornhautaxe liegt, so ist der Abstand des Drehpunktes vom vorderen Hornhautpole $= \frac{d}{\sin \alpha} + \frac{r}{2}$.

Die ellipsoidische Form der Hornhaut kann, wie Weiss berechnet, bei dieser Methode keinen Fehler ergeben, der nicht innerhalb der Fehlergrenzen der Messung läge. Auch hat diese Methode den Vortheil, dass sie den Abstand des Drehpunktes vom Hornhautpol direct ergiebt und keine weitere Bestimmung des Abstandes zwischen Hornhautpol und Hornhautbasis oder scheinbarer Pupillarebene nöthig macht. Weiss bestimmte nach dieser Methode für 10 Augen die Lage des Drehpunktes und fand dessen Abstand vom Hornhautpole im Ganzen etwas kleiner als Donders (s. die Tabelle auf folg. S.). Unter jenen Augen befand sich nur ein emmetropisches, dessen Drehpunkt 12,899 mm. hinter dem Hornhautpole gefunden wurde.

Von den älteren Bestimmungen der Lage des Drehpunktes, welche alle von der Voraussetzung ausgingen, dass es einen solchen wirklich gebe, seien hier nur die Ergebnisse der Untersuchungen von Donders und Doyer [1] angeführt. Die Methode derselben ist folgende: „Man bestimmt, wie gross die Bewegungswinkel (mit gleichen Excursionen nach beiden Seiten) sein müssen, um die beiden Endpunkte des gemessenen horizontalen Durchmessers der Hornhaut, einen nach dem andern, mit demselben Punkte im Raume zusammenfallen zu lassen.“ Die Messung des horizontalen Cornealdurchmessers geschieht mit Hülfe des Ophthalmometers. Die Bestimmungen wurden nur für horizontale Blickbewegungen gemacht; da aber gerade für diese nach den Untersuchungen von Müller und Berlin ein fester Drehpunkt noch am ehesten wahrscheinlich ist, so wird der Werth dieser Bestimmungen durch das Hypothetische ihrer Voraussetzungen wohl wenig beeinträchtigt.

Vor dem Auge wurde ein horizontaler Gradbogen aufgestellt, dessen Mittelpunkt mit dem vermuthlichen Orte des Drehpunktes ungefähr zusammenfiel. Gegenüber dem Auge war ein Fernrohr aufgestellt, dessen Axe mit der Axe der Hornhaut zusammenfiel, wenn

---

1 Donders, Die Anom. der Refract. u. Accommod. S. 156.

ein bestimmtes Visirzeichen auf dem Gradbogen fixirt wurde. Ein verticales Haar war vor dem Auge so angebracht, dass es ebenfalls durch diese Axe ging, so dass also der Mittelpunkt des Fadenkreuzes, das Haar und die Hornhautmitte sich für den Beobachter deckten. Nun wurde ein zweites Visirzeichen, welches der Untersuchte immer fixiren musste, auf dem Gradbogen soweit seitwärts geschoben, bis der Hornhautrand sich mit dem Haare deckte und der Bogen abgelesen, um welchen das zweite Visirzeichen von dem ersten abstand. Dieselbe Bestimmung wurde nach der andern Seite hin gemacht. Beide Bogen zusammen wurden für den Winkel der Drehung genommen, welche das Auge ausführen musste, um nach einander das eine und das andere Ende des horizontalen Cornealdurchmessers in die verlängerte Axe des Fernrohres zu bringen. Aus diesem Winkel und dem Cornealdurchmesser wurde der Abstand des Drehpunktes von der Hornhautbasis berechnet und dazu 2,6 mm. addirt. Die Methode setzt voraus, dass der Drehpunkt auf der Cornealaxe liegt.

Die folgende Tabelle giebt die nach dieser Methode von Donders und Doyer und später von Mauthner[1] gefundenen Mittelwerthe in Millimetern für emmetropische, myopische und hypermetropische Augen.

	Länge der Sehaxe.	Lage des Drehpunktes			
		hinter der Hornhaut.	vor der hinteren Fläche der Sclerotica.	hinter der Mitte der Sehaxe.	
1. E.	23,53	13,45	9,99	1,77	Donders und Doyer.
2. M.	25,55	14,52	11,03	1,75	
3. H.	22,10	13,22	8,88	2,17	
1. E.	24,98	13,73	11,25	1,24	Mauthner.
2. M.	27,23	15,44	11,79	1,82	
3. H.	23,08	13,01	10,07	1,47	

II. Die Augenbewegungen beim Fernsehen.

Wenn der Blickpunkt vom Orte *a* entlang einer horizontalen Geraden nach dem Orte *b* bewegt wird, ohne dass dabei der Kopf irgendwelche Bewegung macht, so ist die Ebene, welche durch den Drehpunkt eines Auges und durch die beiden Orte *a* und *b* geht, die von der Gesichtslinie dabei durchmessene Bahn. In der Senkrechten,

1 Mauthner, Vorles. über d. opt. Fehler d. Aug. S. 640. Wien 1876.

welche im Drehpunkte des Auges auf dieser Ebene errichtet wird, liegt die Axe der Drehung. Wenn der bei Beginn der Drehung mit dieser Senkrechten zusammenfallende Durchmesser des Auges auch während des ganzen Verlaufes der Drehung in dieser Lage beharrt, so ist derselbe die feste Axe der Drehung. Die Gesichtslinie könnte aber in genau derselben ebenen Bahn von Punkt *a* nach *b* bewegt werden, ohne dass doch die Drehung des Augapfels um einen während der Drehung feststehenden Durchmesser des Augapfels erfolgte. Man denke sich in das Auge eine starke lange Nadel so eingestossen, dass sie mit der Gesichtslinie zusammenfällt, und stelle sich vor, man fasse das in den Raum hinausragende Stück der Nadel an seinem Ende zwischen zwei Fingern und schiebe die Nadel in der Horizontalebene vorwärts, so dass sie wieder dieselbe Bahn beschreibt wie vorhin die Gesichtslinie des activ bewegten Auges. Dann könnte man während der Verschiebung die Nadel zugleich zwischen den Fingern etwas um sich selbst drehen und damit den ganzen, fest mit der Nadel verbundenen Augapfel um die Gesichtslinie rollen, soweit es seine lockeren Befestigungen an der Orbita gestatten. Diesenfalls nun würde die Drehung des Augapfels zwar ebenfalls immer um die zur Ebene der Bahn im Drehpunkt senkrecht stehende Linie erfolgen, aber es würde nicht während der ganzen Drehung ein und derselbe Durchmesser des Auges in dieser Verticalen bleiben, sondern wir würden, weil wir zugleich den Augapfel um die Nadel rollen, auch immer andere Durchmesser desselben in die verticale Lage und also mit der im Kopfe festliegenden verticalen Axenlinie zum Zusammenfallen bringen. Es würde somit in jedem Augenblicke ein anderer Durchmesser des Auges die jeweilige oder augenblickliche Drehungsaxe im Augapfel sein. Je nachdem man nun die Sache auffasst, kann man sagen, das Auge werde dabei um eine im Kopfe feststehende verticale Linie (Axe) gedreht, gleichzeitig aber auch um die Gesichtslinie gerollt, oder man kann, wenn man den jeweilig in jener verticalen Linie liegenden Durchmesser des Auges als die augenblickliche Drehungsaxe bezeichnet, sagen, der Augapfel werde successive um immer andere seiner Durchmesser oder um augenblickliche Augapfelaxen gedreht.

Da die erstere Auffassung anschaulicher ist, so wollen wir sie im Folgenden beibehalten.

Wenn die Gesichtslinie bei ihrer Bewegung eine irgendwie gelegene ebene Bahn durchmisst, so erfolgt also unserer Annahme gemäss die Drehung stets um eine im Kopfe feststehende Axe, welche im Drehpunkt auf der Bahnebene senkrecht steht, aber es kann

dabei entweder immer derselbe Durchmesser des Augapfels mit der im Kopfe festen Drehungsaxe zusammenfallen, oder es kann, weil gleichzeitig eine Rollung des Augapfels um die Gesichtslinie stattfindet, in jedem Augenblicke der Drehung ein anderer Durchmesser des Augapfels in die im Raume festliegende Drehungsaxe eintreten. Die erste Art der Drehung werden wir eine einfache Drehung des Auges, die zweite eine mit Rollung verbundene Drehung nennen.

Es gilt nun festzustellen, wie das Auge, wenn seine Gesichtslinie eine ebene Bahn beschreibt, sich wirklich dreht, ob einfach oder mit Rollung.

Diese Frage hat LISTING[1] auf Grund einer rein theoretischen Betrachtung mit einem Satze beantwortet, welcher als das LISTING'sche Gesetz bezeichnet wird, und welcher besagt, dass es eine, aber auch nur eine ganz bestimmte Lage des Augapfels in der Orbita und also auch nur eine bestimmte Stellung der Gesichtslinie relativ zu den drei Hauptebenen des Kopfes giebt, aus welcher heraus die Gesichtslinie in jeder beliebigen ebenen Bahn durch einfache Drehung und also ohne gleichzeitige Rollung bewegt werden kann. Diese ganz bestimmte Lage des Augapfels sammt seiner Gesichtslinie in der Orbita heisst die Primärstellung, jede andere wirklich vorkommende Lage der Gesichtslinie eine Secundärstellung. Denkt man sich also durch diese Primärstellung der Gesichtslinie und durch diejenige Secundärstellung, in welche sie übergeführt werden soll, eine Ebene gelegt, so ist nach jenem Gesetze der bei Beginn der Drehung zu dieser Ebene im Drehpunkte senkrecht stehende Durchmesser des Augapfels auch während des ganzen Verlaufs der Drehung die Drehungsaxe, und damit ist uns zugleich die Lage des ganzen Augapfels für jede dieser Bahnebene angehörige Secundärstellung der Gesichtslinie gegeben.

Rein theoretisch betrachtet könnte bei einer gegebenen Stellung der Gesichtslinie relativ zum Kopfe und zur Orbita der Augapfel sehr verschiedene Lagen in der Orbita haben, denn man kann sich den Augapfel um die feststehende Gesichtslinie gerollt denken, soweit es seine Anheftungen in der Orbita zulassen. Wir haben aber schon im ersten Capitel gesehen, dass, wenn bei aufrechtem Kopfe die Gesichtslinien horizontal und parallel geradeaus gestellt sind, auch die Netzhaut und somit der ganze Augapfel immer dieselbe Lage zu den drei Hauptschnitten des Kopfes hat; denn wir fanden

---

1 RUETE, Lehrb. d. Ophthalmologie S. 37. 2. Aufl. Vergl. auch LISTING's nachträgliche Bemerkungen in den Göttinger Nachrichten 1869. Nr. 17.

dabei, von ganz kleinen Abweichungen abgesehen, die Lage des mittlen Längsschnittes jeder Netzhaut als eine ganz bestimmte. Nach dem Listing'schen Gesetze würde dasselbe für jede beliebige andere Stellung der Gesichtslinie zum Kopfe gelten. Jeder bestimmten Secundärstellung der Gesichtslinie entspräche auch eine ganz bestimmte Lage der Netzhaut und des Augapfels in der Orbita, und wenn uns diese Lage für die Primärstellung bekannt ist, so können wir sie nach jenem Gesetze auch für jede Secundärstellung finden. Wir denken uns dann durch die in dieser Secundärstellung befindliche Gesichtslinie und durch ihre Primärstellung eine Ebene gelegt und das Auge um den zu dieser Ebene senkrechten Durchmesser des Augapfels als feste Axe aus der Primärstellung in die gegebene Secundärstellung hineingedreht. Der Durchmesser also, welcher sowohl zur primären als zur gegebenen secundären Stellung der Gesichtslinie senkrecht liegt, ist derjenige, welcher bei beiden Augenstellungen dieselbe Lage in der Orbita hat. Wenn uns aber einerseits die Lage der Gesichtslinie, andererseits die Lage eines zweiten Durchmessers des Augapfels in der Orbita gegeben ist, so ist damit die Lage des ganzen Augapfels in der Orbita bestimmt.

Helmholtz [1] hat zuerst durch Versuche bewiesen, dass das Auge bei symmetrischer Kopfhaltung und beim Fernsehen, wobei also die Gesichtslinien immer nahezu parallel sind, wirklich ziemlich genau nach dem Listing'schen Gesetze bewegt wird, und dass, wenn wir bei aufrechtem Kopfe einen gerade vor uns in gleicher Höhe wie die Augen über dem Horizonte gelegenen fernen Punkt fixiren, beide Gesichtslinien entweder genau oder wenigstens sehr angenähert in ihrer Primärstellung sind.

Untersuchung mit Hülfe von Nachbildern. Am besten führt man den Beweis für die Richtigkeit des Listing'schen Gesetzes mit einem linearen Nachbilde, das man sich auf einem passend gewählten Netzhautmeridiane erzeugt. Man setzt sich in erhöhter Stellung vor eine möglichst grosse und entfernte einfarbige Wand, so dass der Kopf sich ungefähr in gleicher Höhe mit dem Mittelpunkte der Wand befindet. Am Stuhle ist ein Kopfhalter befestigt, wie ihn die Photographen benützen. Ueber die Wand ist zunächst ein horizontales und ein verticales, z. B. rothes Band gespannt, und beide Bänder kreuzen sich in dem Punkte der Wand, der sich in gleicher Höhe mit den Augen und ungefähr in der Medianebene des Kopfes befindet. Auf der Mitte der Durchkreuzungsstelle der Bänder wird eine schwarze Marke angebracht, welche

1 Helmholtz, Arch. f. Ophthalmologie IX. (2) S. 153. 1863.

als Fixationspunkt dient. Parallel dem verticalen Bande sind rechts und links, parallel dem horizontalen Bande oben und unten in regelmässigen Abständen schwarze Schnüre über die Wand gespannt, so dass dieselben ein rechtwinkliges Gitter bilden. Hat die Wand ein Muster, das in horizontaler und verticaler Richtung in regelmässigen Abständen wiederkehrt, so kann man sich die Schnüre ersparen. Man hält nun den Kopf zwanglos aufrecht und die Antlitzfläche parallel der Wand, bringt den beweglichen Kopfhalter an den Hinterkopf und befestigt ihn. Hierauf fixirt man anhaltend die schwarze Marke und lässt dann, nachdem man ein Auge geschlossen hat, den Blick langsam entlang dem horizontalen rothen Bande nach rechts oder links gehen, ohne den Kopf irgend zu verrücken. Dabei wandert das Nachbild des rothen Verticalbandes als ein grüner Strich mit dem Blicke über die Wand und erscheint immer parallel zu den schwarzen Verticalschnüren, falls das Auge sich während der Fixirung der Marke wirklich in der Primärstellung befunden hat. Das Nachbild des horizontalen Bandes wird diesenfalls gar nicht sichtbar, weil es immer mit dem Bilde des Bandes zusammenfällt. Kehrt man mit dem Blicke zur schwarzen Marke zurück, fixirt dieselbe wieder einige Zeit, um das Nachbild aufzufrischen, und lässt nun den Blick auf dem verticalen Bande hinauf oder hinabgleiten, so erscheint das mitwandernde Nachbild des horizontalen Bandes immer parallel den horizontalen Schnüren, falls die Anfangsstellung der Gesichtslinie die wirkliche Primärstellung war; das Nachbild des verticalen Bandes aber bleibt jetzt unsichtbar. War jedoch beim Fixiren der Marke die Gesichtslinie des benutzten Auges nicht in der wirklichen Primärstellung, so bleibt bei Rechts- und Linkswendung des Blickes das wandernde Nachbild des verticalen Bandes nicht parallel zu den verticalen Schnüren und das des horizontalen Bandes erscheint als ein das rothe Band im jeweiligen Fixationspunkte unter sehr spitzem Winkel schneidender grüner Strich; diesen Falls muss man den Kopf etwas vor- oder zurückneigen, bis man die richtige Stellung gefunden. Ist dies geschehen und man lässt nun den Blick am verticalen Bande hinauf oder hinuntergehen, und es erscheint jetzt das Nachbild des horizontalen Bandes nicht parallel mit den horizontalen Schnüren und wird das des verticalen als ein gegen dasselbe etwas verdrehter grüner Strich gesehen, so muss man den Kopf ein wenig nach rechts oder links um seine verticale Axe drehen, bis die richtige Stellung gefunden ist. Gelingt endlich der Versuch nach beiden Richtungen, so ist die Gesichtslinie in der Primärstellung.

Jetzt kann man den Versuch mit dem andern Auge wiederholen und man wird, wenn nur der Kopf eine gerade Haltung hat, finden, dass er auch mit diesem Auge gelingt. Ist die Wand zu nahe, so gelingt der Versuch mit keinem Auge genau, weil die Gesichtslinien erheblich vom Parallelismus abweichen und für convergirende Gesichtslinien nicht dasselbe Bewegungsgesetz gilt, wie für parallele. Ist aber die Wand mässig fern, so ist die Convergenz so gering, dass der daraus resultirende Fehler gegenüber den sonstigen Fehlerquellen der Methode nicht ins Gewicht fällt.

Man kann sich die Auffindung der richtigen Kopfstellung sehr erleichtern, wenn man ein von Helmholtz[1] angegebenes Visirzeichen benutzt, über dessen Gebrauch derselbe Folgendes angiebt:

„Um die Richtung der Primärstellung der Blickebene in Beziehung auf den Kopf zu fixiren, benutze ich ein Brettchen, welches ein Visirzeichen trägt und zwischen die Zähne genommen wird. Es ist in Fig. 42 in geometrischer Projection abgebildet. Das Brettchen *AB* (13 cm. lang, 4 cm. breit) hat bei *A* einen den Zahnreihen entsprechenden bogenförmigen Ausschnitt, bei *B* trägt es eine vierkantige hölzerne Säule, an der ein horizontaler Streif *CC* aus steifem Papier mit Klebwachs, und daher leicht verschieblich befestigt ist. Die Ränder des Ausschnitts *A* werden auf beiden Seiten mit einem Wulst von heissem Schellack bedeckt, und wenn dieses zu erhärten beginnt, drückt man die beiden Zahnreihen in den Schellack ab, indem man das Brettchen fest zwischen die Zähne nimmt. Ist das Harz erkaltet, so ist nachher die Lage des Brettchens zwischen den Zahnreihen unverrückbar festgestellt, und nach jeder Unterbrechung der Versuche immer wieder in genau unveränderter Weise herzustellen.

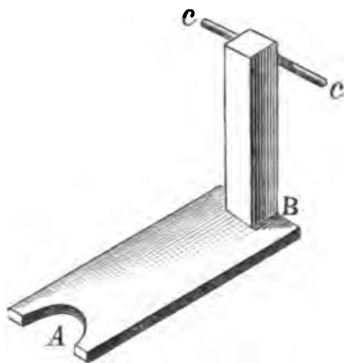


Fig. 42.

Der Papierstreifen *CC* wird so lang gemacht, als die Distanz der Drehpunkte der Augen. Man erkennt dies leicht, wenn man nach einem unendlich entfernten Objecte hinsieht. Dann erscheint der Papierstreifen in einem binocularen Doppelbilde; man macht ihn so lang und dreht ihn so, dass die einander zugekehrten Enden seiner Doppelbilder gerade auf einander stossen. Alsdann müssen die spitzen Enden des Streifens um die Entfernung der Drehpunkte (oder eigentlich der Centra der Visirlinien) beider Augen von einander entfernt sein.“ Der Streifen wird zunächst so angebracht, dass seine Spitzen und die fixirte Marke der Wand sich decken.

Sind nun bei der anfangs gewählten Kopfstellung die Nachbilder

---

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 517.

beim Wandern des Blickes den gleichgerichteten Schnüren nicht genau parallel geblieben, „so muss man den Papierstreifen des Visirbrettchens verschieben, bis man die richtige Stellung desselben gefunden hat. Und zwar muss man den Papierstreifen weiter nach links schieben, wenn man nach oben blickend das linke Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend, dasselbe tiefer stehend findet. Findet man nach oben blickend dagegen das rechte Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer, so verschiebt man nach rechts. Man verschiebe den Streifen dagegen nach oben, wenn man nach links blickend das linke, nach rechts blickend das rechte Ende des Nachbildes tiefer stehend findet, und umgekehrt."

Hering [1] hat die Grenzen der Genauigkeit dieser Methode untersucht und gefunden, dass die Einzelbestimmungen innerhalb eines Spielraumes variirten, welcher an den äussersten Grenzen des Blickfeldes bis auf 5° wuchs, sodass Abweichungen von 2° 30′ vom Mittelwerthe vorkamen.

Der eben beschriebene Nachbildversuch wurde, abgesehen von der Anwendung des Visirzeichens, im Wesentlichen ebenso und zwar mit Benutzung nur eines verticalen Bandes zuerst von Donders [2] angestellt, jedoch mit beiden Augen zugleich, was streng genommen in solange nicht angeht, als man ihn nicht bereits für jedes Auge besonders angestellt hat. Denn gesetzten Falls die beiden Augen hätten sich bei der Verticalbewegung des Blickes etwas um die Gesichtslinien in entgegengesetztem Sinne gerollt, so würde gleichwohl, wie aus der S. 433 gegebenen Erörterung hervorgeht, das Nachbild immer vertical erscheinen, ebenso das verticale Band, und nur bei sehr strenger Beobachtung würde man bemerken, dass entweder das Band oder das Nachbild in zwei sich unter sehr spitzen Winkeln schneidenden Doppelbildern erscheint, je nachdem bei der Ausgangsstellung die mittlen Längsschnitte vertical und parallel waren oder schwach nach oben divergirten. Analoges würde für die Horizontalbewegung gelten, falls dabei beide Augen sich in entgegengesetztem Sinne um die Gesichtslinie gerollt hätten.

Betreffs der sogleich zu besprechenden Bewegungen in schräger Richtung kam Donders zu keinem übersichtlichen Resultate. Doch schien sich aus seinen Versuchen der Satz zu ergeben, dass dem Auge bei jeder bestimmten Stellung der Gesichtslinie relativ zum Kopfe eine ganz bestimmte Lage in der Orbita zukommt, welchen Satz später Helmholtz als das Donders'sche Gesetz bezeichnet hat.

Der beschriebene Versuch lehrt nun zunächst, dass die Gesichtslinie aus der beim Fixiren der Marke gegebenen Stellung heraus in horizontaler und verticaler Richtung durch einfache Drehung des Auges bewegt wird. Denn denkt man sich während des Fixirens der Marke durch das Verticalband und den Drehpunkt des Auges eine verticale Ebene gelegt, so schneidet dieselbe die Netzhaut in demjenigen Meridian, auf welchem das Bild des verticalen Bandes

1 Hering, Beiträge zur Physiologie IV. S. 252. 1864.
2 Donders, Holländ. Beiträge 1. Heft. S. 135. 1846.

liegt. Wird nun das Auge, wie es das LISTING'sche Gesetz fordert, um den jetzt vertical stehenden Durchmesser des Augapfels gedreht, so können wir uns diese Ebene, welche die Richtungslinienebene des Nachbildes ist, mit gedreht denken. Dabei wird sie immer vertical bleiben und die verticale Wand in verticalen Linien schneiden. Auf diesen Schnittlinien der Wand aber wird das Nachbild erscheinen müssen. Analog wird bei Verticalbewegung des Blickes die Richtungslinienebene des Nachbildes vom horizontalen Bande die Wand immer in horizontalen Linien schneiden müssen, falls die Drehung um den bei der Primärstellung horizontalen und zur Gesichtslinie rechtwinkligen Durchmesser des Auges erfolgt.

Wenn man nach Erzeugung des Nachbildes der Bänder in der Primärstellung den Blick in irgend welcher krummen oder zickzackförmigen Bahn zu einem beliebigen Punkte des verticalen oder horizontalen Bandes überführt, so erscheint ersternfalls wieder das Nachbild des horizontalen, letzternfalls das des verticalen Bandes parallel zu den horizontalen, beziehentlich verticalen Schnüren, höchstens zeigt das Nachbild, wie HELMHOLTZ[1] angiebt, in den ersten Secunden eine kleine Abweichung, die sich aber wieder verliert. Daraus geht hervor, dass, wie es LISTING's Gesetz fordert, die Netzhaut und somit der ganze Augapfel immer wieder dieselbe Lage annimmt, sobald die Gesichtslinie wieder in dieselbe Secundärstellung kommt, gleichviel auf welchem Wege die Gesichtslinie in diese Secundärstellung gelangt ist; immer vorausgesetzt, dass der Kopf die oben erwähnte Haltung bewahrt und die Gesichtslinien annähernd parallel sind.

Um nun zu beweisen, dass die Gesichtslinie auch bei der Bewegung in einer schräg gelegenen ebenen Bahn aus der Primärstellung durch einfache Drehung des Auges und ohne gleichzeitige Rollung desselben bewegt wird, kann man den beiden sich immer rechtwinklig im primären Fixationspunkte schneidenden Bändern sammt dem Gitter der Parallelschnüre eine entsprechend geneigte Lage geben, was am leichtesten so geschieht, dass man Bänder und Schnüre auf einer sehr grossen um den primären Fixationspunkt drehbaren Tafel anbringt. Man kann dann für jede beliebige Neigung der Bänder feststellen, dass, wenn man mit dem Nachbild im Auge den Blick auf dem einen Bande hingleiten lässt, das Nachbild des andern immer sehr angenähert parallel zu den bezüglichen Parallelschnüren erscheint, womit das LISTING'sche Gesetz durchgängig bewiesen ist.

---

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 467.

Wir haben in der Einleitung die gerade, aufrechte Haltung des Kopfes als seine Primärstellung und die bei dieser Stellung durch die Drehpunkte der Augen gelegte Horizontalebene als die primäre Blickebene bezeichnet; zugleich haben wir darauf hingewiesen, dass von der genaueren Bestimmung dieser Primärstellung des Kopfes später zu sprechen sei. Die Primärstellung der Augen giebt uns zu dieser Bestimmung das Mittel. Hat man bei horizontal liegender Blickebene und parallel gestellten Gesichtslinien dem Kopfe diejenige Haltung gegeben, bei welcher die Gesichtslinien sich in der Primärstellung befinden, so ist auch der Kopf in seiner Primärstellung und die Blickebene hat ihre primäre Lage relativ zum Kopfe. Deshalb heisst auch die bei Primärstellung des Kopfes durch die Drehpunkte der Augen gelegte Horizontalebene die primäre Blickebene.

Helmholtz[1], welcher zuerst die Gültigkeit des Listing'schen Gesetzes auch für die schrägen Bahnebenen der Gesichtslinien erwiesen hat, beschreibt seine zur genaueren Untersuchung benützte Methode folgendermaassen:

„Als Gesichtsfeld dient eine an der Wand befestigte grosse hölzerne Tafel, die mit hellgrauem Papier glatt überzogen ist. Um die Stellung des Kopfes vor dieser sicher fixiren zu können, ist vor ihr in einer für die Accommodation des Beobachters passenden Entfernung ein kleines Tischchen aufgestellt und mit eisernen Klammern am Boden befestigt. Auf dem Tischchen ist ein eiserner Halter mit beweglichen Armen befestigt, wie man ihn in chemischen Laboratorien vielfach gebraucht, und dieser hält ein Brettchen ähnlich dem der Fig. 42, aber ohne die Säule und das Visirzeichen. Das Brettchen dient nur dazu, dem Kopfe des Beobachters, wenn er die Zähne darauf fest beisst, eine sichere Stellung der Tafel gegenüber zu geben. Mittels der Zähne kann die Stellung des Kopfes viel besser gesichert werden, als durch irgend welche Befestigung, welche nur die Weichtheile desselben unmittelbar unterstützt. Ein zweiter verstellbarer horizontaler Arm des Halters wird so festgeschraubt, dass die Stirn gegen ihn anliegt. Auf der Tafel wird dann, dem einen oder andern Auge gegenüber, ein passend gefärbter Streif aus sehr steifem Papier oder dünnem Holz befestigt, der in seiner Mitte mit einem Stechknöpfchen, und um dieses drehbar, befestigt wird. Den Streifen mache ich entweder halb weiss und halb schwarz, oder halb grün und halb roth, so dass die Trennungslinie beider Farben der Länge des Streifens parallel durch die Mitte seiner Breite hinläuft. Diese Trennungslinie giebt dann ein gut gezeichnetes Nachbild. Ferner werden feine schwarze Fäden horizontal und vertical über die Mitte des Streifens gespannt, und die Stellung des Zahnbrettchens so lange geändert, bis die Nachbilder des horizontalen Streifens längs des horizontalen Fadens verschoben diesem parallel bleiben, und ebenso die Nachbilder des vertical gestellten Streifens längs des verticalen Fadens. Dabei ist aber zu bemerken, dass die Gesichtslinien parallel gehalten werden müssen, und um dies zu contro-

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 518.

liren, mache ich in der Entfernung meiner Augen von einander (68 Millimeter) Punkte auf den Stellen der Tafel, nach denen ich hinblicke, den einen dicht an der Linie, nach der ich hinblicke, den andern in gleicher Höhe seitwärts, so dass, wenn ich die beiden Punkte mit parallelen Gesichtslinien betrachte, sie sich scheinbar vereinigen."

„Auf diese Weise kann man die Primärlage des einen und andern Auges finden, — sie liegen bei mir um die Distanz der Augen selbst von einander entfernt, — dann kann man nachher dem Streifen, von dem das Nachbild gewonnen wird, beliebige schräge Richtungen geben und Fäden über seine Mittellinie hinspannen, um längs dieser die Nachbilder zu verschieben." Bringt man nach dem Vorschlage von Helmholtz auf der Mitte der Tafel ein kleines Stück Spiegelglas an, welches den Fixationspunkt trägt, so kann man die senkrechte Lage der Gesichtslinie zur Tafelebene mittels des Spiegelbildes der Pupille controliren.

Hering [1] untersuchte in ähnlicher Weise wie Helmholtz. Ein verticaler Holzrahmen, der durch ein inneres Kreuz in vier kleinere Quadrate getheilt ist, trägt in seiner Mitte nach hinten hin eine horizontale Axe, welche in einem an der Wand befestigten Lager ruht und um welche der Rahmen drehbar ist. Nach vorne ist der Rahmen zur linken Hälfte mit blauen, zur rechten mit orangefarbenem, vollständig ebenem Papier so überspannt, dass die gerade Trennungslinie beider Farben genau durch den Drehpunkt des Rahmens geht. In diesem Punkte ist eine lange feine Stahlnadel senkrecht zur Ebene des Papiers eingesteckt, welche also genau in der Verlängerung der Axe liegt, um welche der Rahmen drehbar ist. Parallel zur Trennungslinie der Farben sind feine Linien über das Papier gezogen, ausserdem eine durch den Drehpunkt der Tafel gehende quere Linie rechtwinklig zu den übrigen. Der Drehpunkt des Rahmens befindet sich in der Höhe der Augen.

Stellte er nun dieser Tafel das zu untersuchende Auge so gegenüber, dass ihm die feine horizontale Nadel in totaler Verkürzung, d. h. punktförmig erschien, so traf die Gesichtslinie senkrecht auf die Ebene des Papiers. Die Drehbarkeit des Rahmens gestattete leicht die Untersuchung auch für alle schrägen Bahnebenen. Um trotz der relativen Nähe der Tafel die Gesichtslinien parallel zu erhalten, stellte er einen zweiten Rahmen vor dem ersten und ihm parallel auf, über welchen verticale Fäden derart ausgespannt waren, dass jeder von seinen beiden Nachbarn denselben Abstand hatte, wie die beiden Drehpunkte beider Augen von einander. Richtete er die parallel gestellten Gesichtslinien auf die Tafel, so sah er diese Fäden einfach, trotzdem dass jeder einzelne ihm Doppelbilder gab. Es bildete sich ihm nämlich das ganze Fadensystem im rechten und im linken Auge auf annähernd correspondirenden Netzhautschnitten ab, wenngleich je zwei correspondirend gelegene Fadenbilder nicht von einem und demselben, sondern von zwei verschiedenen Fäden herrührten. Sobald aber die Bilder der scheinbaren Fäden in zwei zerfielen, war dies ein Zeichen, dass die Gesichtslinien nicht mehr parallel standen. Allerdings erhielt er, während z. B. das linke Auge auf den Drehpunkt der Tafel eingestellt war, im rechten Auge ebenfalls ein Bild

1 Hering, Die Lehre vom binocul. Sehen S. 74. Leipzig 1868.

dieser Farbengrenze, welches aber nur störend werden konnte, wenn die Lage des Nachbildes sich der horizontalen näherte.

Der von Hering bei diesen Versuchen benutzte, von Donders [1] für verschiedene Zwecke modificirte Kopfhalter (Fig. 43) war folgendermassen eingerichtet. Zwei verticale Metallsäulen sind in einem Stative oder auf einem horizontalen Tische eingefügt in einer Entfernung von einander, welche um die Hälfte grösser ist, als der Kopf breit. Nahe ihrem oberen Ende hat jede Säule eine horizontale Bohrung, in welcher eine kurze Axe drehbar ist, die nach beiden Seiten über die Säule hinausragt. Die Axe der einen Säule liegt genau in der gedachten Verlängerung der andern. Das medianwärts hervorragende Stück jeder horizontalen Axe ist vertical durchbohrt, und durch das Loch ein verticaler Messingstab von etwa 12 cm. Länge gesteckt, dessen oberes Ende etwas über die Axe hervorragt. Das obere Stück dieses Stabes ist mit Schraubengängen versehen, und durch zwei Schraubenmuttern, deren eine unter-, die andere oberhalb der durchbohrten Axe sitzt, kann der Messingstab hinauf und hinab und in jeder beliebigen Stellung festgeschraubt werden. An das untere Ende jedes dieser beiden verticalen Messingstäbe ist ein gleich dicker horizontal nach vorn gerichteter Stab von etwa 8 cm. Länge angesetzt, welcher also mit dem verticalen Stabe ein rechtwinkliges Knie bildet. Das freie Ende des horizontalen Knieschenkels ist wieder mit Schraubengängen versehen, und durch die horizontale Bohrung eines horizontalen Querbalkens gesteckt, welcher abermals durch zwei Schraubenmuttern an den horizontalen Schenkeln vor- und zurückgeschoben werden kann. Der horizontale Querbalken endlich trägt ein Brettchen mit einem Ausschnitte für die Zähne, welches um eine verticale Axe auf dem Querbalken drehbar, durch eine Schraube zu fixiren und im Uebrigen ganz so eingerichtet ist, wie das Brettchen des von Helmholtz angegebenen Visirzeichens. Fasst man dieses mit Schellack belegte Brettchen mit den Zähnen, so kann man durch Hinauf- oder Hinabschrauben der beiden verticalen Messingstäbe das Brettchen sammt dem an ihm fixirten Kopfe hinauf- und hinabschieben; durch Vor- oder Zurückschieben des Querbalkens, welcher das Brettchen trägt, kann man letzteres und mit ihm den Kopf vor- oder zurückschieben, endlich kann man durch Drehung des Brettchens um

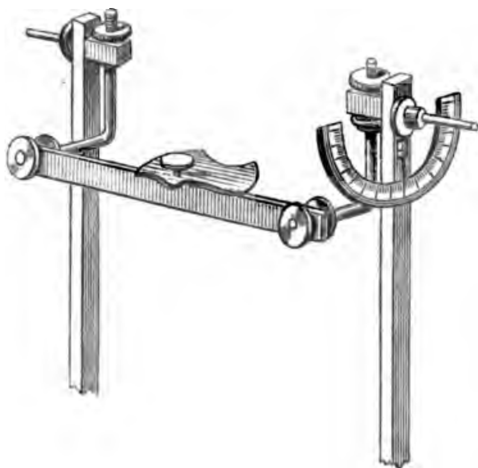


Fig. 43.

1 Donders, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 70 und (3) S. 110. 1875.

seine verticale Axe den Kopf nach links oder rechts drehen. Man kann also auf diese Weise dem Kopfe diejenige Stellung geben, bei welcher die Verbindungslinie der beiden Drehpunkte der Augen genau in die mathematische Axe fällt, um welche sich die beiden Metallaxen in den beiden Säulen drehen können. Da nun mit diesen Metallaxen das Zahnbrettchen verbunden ist, und in letzterem wieder der Kopf unverrückbar fixirt ist, so kann man mit Hülfe des Apparates den Kopf um jene Axe drehen und mittels eines an der Metallaxe befestigten Zeigers auf einem Gradbogen die jeweilige Neigung des Kopfes, beziehentlich der Blickebene ablesen. Hält man nämlich z. B. den Kopf zunächst aufrecht, und stellt die Blickebene horizontal, neigt dann den Kopf um 10^0 nach vorne, so hat sich die Blickebene um 10^0 gehoben, während die Drehpunkte beider Augen ihren Ort im Raume nicht geändert haben.

Um zu controliren, dass die Drehpunkte der Augen in der Drehungsaxe des Apparates liegen, stellt man vor dem am Brettchen fixirten Kopfe einen verticalen, der Frontalebene parallelen Spiegel auf und vor jedes Auge ein Fadenkreuz, dessen Ebene der Spiegelebene parallel und dessen einer Schenkel vertical, der andere horizontal ist. Beide Fadenkreuze haben einen der Augendistanz gleichen Abstand. Deckt sich für jedes Auge das Fadenkreuz mit seinem Spiegelbilde, so stehen die Gesichtslinien senkrecht auf der Spiegelebene. Dreht man nun, während man den Mittelpunkt des Fadenkreuzes fixirt, den Kopf im Kopfhalter nach vorn oder hinten, und bleibt dabei die Deckung zwischen Fadenkreuz und Spiegelbild erhalten, so dreht sich der Kopf um die durch beide Drehpunkte der Augen gehende Axe. Selbstverständlich muss man eine Entfernung des Spiegels und einen Abstand des Fadenkreuzes vom Spiegel wählen, bei welchem letzteres und sein Spiegelbild gleichzeitig ziemlich scharf gesehen werden können. Man findet durch Ausprobiren leicht diejenige Stellung des Zahnbrettchens, bei welcher für die beiden Augen die Verschiebung des Spiegelbildes auf ein Minimum gebracht wird; dann liegt derjenige Punkt des Auges in der Axe des Apparates, welcher für unsere Zwecke als der feste Drehpunkt des Auges angesehen werden darf.

Der Apparat erspart, wenn er einmal eingestellt ist, viel Zeit und Mühe, da man ihn dann zu den mannigfachsten Versuchen benützen kann, bei denen es darauf ankommt, die Augenstellung genau zu controliren und die absolute Lage des Drehpunkes zu kennen. Bringt man vor dem Apparate eine verticale Ebene an, welche der Drehungsaxe des Apparates parallel geht, und markirt die beiden Punkte, in welchen die horizontal und parallel geradeaus gestellten Gesichtslinien senkrecht auf die Tafel treffen, so kann man aus dem Abstande eines beliebigen, horizontal nach rechts oder links von diesen Punkten gelegenen Fixationspunktes den Winkel der Seitenwendung der bezüglichen Gesichtslinie leicht berechnen, insofern dieser Abstand dividirt durch den Abstand der Beobachtungsebene von dem Drehpunkte des Auges die Tangente des gesuchten Winkels giebt. Da man ausserdem am Apparate die jeweilige Neigung der Blickebene ablesen kann, so kennt man jederzeit genau die Lage der Gesichtslinie relativ zu den Hauptebenen des Kopfes.

Die Genauigkeit, mit welcher die Vergleichung der Richtung der

Nachbilder mit jener der Fäden nach derart verbesserten Methoden geschieht, geht nach Helmholtz bis zu einem halben Grade etwa. Er fand bei diesen Beobachtungen gewisse kleine Veränderungen, die von dem Wege abhingen, auf dem das Auge in die betreffende Stellung gebracht worden war, und selbst an verschiedenen Tagen zu wechseln schienen. Auch fand er die Primärstellung an einem Tage ein wenig höher, am andern tiefer, und sie veränderte sich sogar, während er eine Reihe von Versuchen ausführte.

Untersuchung nach der Substitutionsmethode. Eine zweite Methode zur Untersuchung der Netzhautlagen bei Parallelstellung der Gesichtslinien ist die schon im ersten Capitel beschriebene Substitutionsmethode. Dieselbe hat den Nachtheil, dass sie im Allgemeinen nur die relative Lage der beiden Netzhäute zu einander feststellt, nicht deren Lage in Bezug auf die drei Hauptschnittebenen des Kopfes, wie dies die Nachbildmethode thut. Nur wenn die Gesichtslinien parallel der Medianebene liegen, ergiebt sich daraus bei normalen Augen zugleich die Lage der Netzhäute in Bezug auf die Hauptebenen des Kopfes. Dagegen hat aber diese Methode den Vortheil einer viel grösseren Genauigkeit, welche nach Helmholtz bis auf $^1/_{10}$ Grad reicht. Hering [1] fand nach dieser Methode zunächst, dass, wenn die Gesichtslinien parallel der Medianebene liegen, die bei der Primärstellung verticalen Meridiane um so mehr nach oben divergiren, je mehr man die Blickebene relativ zum feststehenden Kopfe erhebt, um so mehr nach unten, je mehr man die Blickebene senkt, und dass also die mittlen Längsschnitte, wenn sie in der Primärstellung nach oben divergiren, ihre Divergenz bei Hebung der Blickebene verstärken, während sie bei der Senkung derselben allmählich parallel und sogar convergent nach oben werden können.

Abweichungen von Listing's Gesetz in diesem Sinne wurden später von Berthold [2], Helmholtz [3], Donders [4], Landolt [5], Le Conte [6] bestätigt.

Hering fand ferner, dass bei den meisten Parallelstellungen, welche irgend erheblich von der Primärstellung abweichen, der Parallelismus der in der Primärstellung verticalen Meridiane nicht genau erhalten bleibt und dass dabei Divergenzen und Convergenzen dieser

---

1 Hering, Beiträge zur Physiologie III. S. 175. 1863.
2 Berthold, Arch. f. Ophthalmologie XI. (3) S. 107. 1865.
3 Helmholtz, Physiol. Optik S. 523. 1867.
4 Donders, Onderzoek. ged. in het Physiol. Labor. Utrecht 3. R. II. p. 380. 1873 und Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 390. 1876.
5 Mitgetheilt von Aubert in Handb. d. gesammt. Augenheilk. von Graefe u. Saemisch II. S. 660. 1876.
6 le Conte, Amer. journ. of scienc. N. S. II. Vol. 49 (citirt nach Nagel's Jahresbericht f. Ophthalmologie 1872).

Meridiane oder genauer gesagt ihrer Richtungslinienebenen von mehreren Graden vorkommen, was später von vielen Seiten bestätigt wurde. Diese Abweichungen sind individuell verschieden, und HELMHOLTZ meint, dass sie bei kurzsichtigen Augen stärker sind, als bei normalsichtigen. Es ist jedoch immer zu bedenken, dass diese Abweichungen nur dann erheblicher sind, wenn die Gesichtslinien weiter aus der Primärstellung herausgedreht werden, als beim gewöhnlichen Sehen der Fall ist. Denn wie oben gezeigt wurde, vermeiden wir alle stärker abweichenden Secundärstellungen der Gesichtslinie dadurch, dass wir den Kopf entsprechend wenden.

Messende Versuche über diese Anomalien, wie sie BERTHOLD nannte, wurden dann von diesem mitgetheilt. Er gab an, dass sein kurzsichtiges (1/10) Auge dem LISTING'schen Gesetze nicht folgt, dass aber die Abweichung für das gewöhnlich benutzte Blickfeld sehr unbedeutend ist und erst bei starker Erhebung und Senkung auffällig wird. HELMHOLTZ [1] fand mit Hülfe der Substitutionsmethode Abweichungen, die für jedes einzelne Auge nur 9 Winkelminuten betrugen. VOLKMANN [2] für seine etwas kurzsichtigeren Augen Maximalabweichungen beim Blicke schräge nach unten rechts und links bis zu 54 Minuten für beide Augen zusammengenommen, also 27 Minuten für jedes Auge. HERING [3] kam auf Grund eingehender Untersuchungen zu dem Ergebniss, dass, abgesehen von den Veränderungen der Divergenz der mittlen Längsschnitte bei Hebung und Senkung der Blickebene, die Divergenz der ersteren wuchs, wenn bei beliebiger Neigung der Blickebene die Gesichtslinien nach rechts oder links gewandt wurden, und dass der Zuwachs hierbei um so stärker war, je stärker die Blickebene gehoben war. Die grösste Abweichung von LISTING's Gesetz betrug 4°. DONDERS [4] fand die Anomalien im gewöhnlich benützten Gesichtsfelde kaum merkbar und erst gegen die Grenzen des Blickfeldes beträchtlich.

VOLKMANN untersuchte die Lage der Mittelschnitte bei verschiedenen Parallelstellungen nach der Substitutionsmethode von HERING mittels Halblinien, welche haploskopisch zu einer geraden Linie zusammengesetzt wurden (vergl. Capitel I); BERTHOLD wesentlich nach derselben Methode, nur setzte er an Stelle der Halblinien frei durch den Raum gespannte Fäden, weil es ihm schwer fiel, die Gesichtslinien parallel zu halten. Er konnte so einen fernen Punkt fixiren, während doch jede Gesichtslinie durch das Ende je eines der beiden Halbfäden ging, welche haploskopisch zu einem scheinbar zusammenhängenden Faden vereinigt wurden.

HELMHOLTZ beschreibt seine Methode folgendermassen: „Für die Prüfung der Parallelstellungen habe ich an einer verticalen Holztafel zwei durch kleine Gewichte gespannte Fäden aufgehängt, einen weissen vor schwarzem Grunde und einen schwarzen vor weissem Grunde. Die

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 468.
2 Mitgetheilt von HELMHOLTZ ebenda S. 468.
3 HERING, Die Lehre vom binocul. Sehen S. 88. 1868.
4 DONDERS, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 391. 1876.

Entfernung der Stifte, an denen die Fäden hingen, wurde so gewählt, dass bei den Beobachtungen die fixirten Mittelpunkte der Fäden die Distanz meiner Augen, 68 Millimeter, hatten. Nach unten hin lehnten sich die Fäden an zwei Nadeln, die in das Holz eingesteckt waren und die Fäden etwas convergiren machten. Hinter der Mitte der Fäden, die zu fixiren waren, war eine horizontale Linie gezogen, gerade in der Höhe meiner Augen. Die Fäden wurden mit parallel gerichteten Gesichtslinien betrachtet, wobei sie in denselben Ort des gemeinschaftlichen Sehfeldes zu liegen kommen, und die Nadel am untern Ende des einen wurde so lange verschoben, bis sich die Fäden nicht mehr kreuzten und bei schwacher Convergenz nicht mehr in divergenten, sondern in parallelen Bildern erschienen. Dadurch, dass man den Fäden verschiedene Farbe giebt, lässt sich ihre Congruenz im Gesichtsfelde besser beurtheilen, als wenn sie gleichfarbig sind, wobei sie leicht stereoskopisch verschmelzen, selbst wenn sie sich durchaus noch nicht decken. Wenn man sie als nahe Doppelbilder sieht, so erscheinen ihre Mitten getrennt und ihre Enden vereinigt. Man muss dann darauf achten, dass die Vereinigung nach oben und nach unten hin in derselben Weise vor sich geht.

Indem ich den Kopf vornüber und hintenüber neigte, konnte ich diese Versuche mit parallel gesenkten und parallel gehobenen Gesichtslinien wiederholen. Bei späteren Wiederholungen dieser Versuche fand ich es noch vortheilhafter, dem einen Auge als Object einen geradlinig begrenzten rothen Streifen von 3 Millimeter Breite, dem andern einen blauen Faden, beide auf schwarzem Grunde zu zeigen. Der Faden muss in der Mitte des rothen Streifens erscheinen".

Diese Methode unterscheidet sich von den übrigen wesentlich dadurch, dass ein horizontaler Faden im Gesichtsfelde war; ein solcher veranlasst, wie schon oben S. 359 erwähnt wurde und noch zu besprechen sein wird, die Augen zur Herstellung des Parallelismus correspondirender Meridiane, woraus sich vielleicht erklärt, dass Helmholtz kleinere Abweichungen fand, als andere Beobachter.

Zur Untersuchung nach der Substitutionsmethode diente Hering folgende Vorrichtung: „Auf einem horizontalen, ebenen Tische steht an einem Stativ befestigt eine verticale Tafel, die bis auf den Tisch herabreicht, und deren Vorderseite mit grauem Papier überzogen ist. In den Tisch sind vor der verticalen Beobachtungstafel die beiden Säulen des oben beschriebenen Kopfhalters eingeschraubt. Die Tafel läuft der queren Axe des Halters genau parallel und steht zunächst im Fernpunkte der parallel gestellten Augen. Auf ihr befinden sich zwei lange, fünfzehn Millimeter breite Messingstreifen so befestigt, dass der linke dem linken, der rechte dem rechten Auge gerade gegenüber liegt. Jeder von den beiden ist um denjenigen Punkt der Tafel drehbar, welcher mit dem Drehpunkte des gegenüberliegenden Auges auf gleicher Höhe und ihm genau gegenüber liegt. Die Drehpunkte der beiden Messingstreifen haben also dieselbe Distanz wie die Augen, und wenn die Gesichtslinien parallel geradeaus gestellt sind, so trifft jede im Drehpunkte des gegenüberliegenden Streifens senkrecht auf die Tafel. Der eine Streifen reicht nach unten, der andere nach oben bis nahe an den Rand der Tafel und trägt dort einen Nonius, welcher an einem graduirten Kreisbogen gleitet, so

dass man die Abweichung des Streifens von der verticalen Lage auf Minuten ablesen kann. Nach der anderen Seite reicht jeder Streifen weniger weit, um nicht durch zu grosse Länge die stärkere Verdrehung der Streifen gegeneinander zu hindern. Auf der vorderen Seite sind beide Streifen mit demselben grauen Papier überzogen wie die Tafel; ihre beiden Drehpunkte sind mit Tinte deutlich markirt. Der eine Streifen ist durch ein weisses Rosshaar genau längs halbirt, der andere trägt zwei schwarze parallel gespannte Rosshaare, welche, das eine um 1 mm. nach links, das andere um 1 mm. nach rechts vom Drehpunkte des Streifens abweichen. Wenn die beiden Drehpunkte der Streifen binocular verschmelzen, so erscheint das weisse Haar des einen Streifens zwischen den beiden

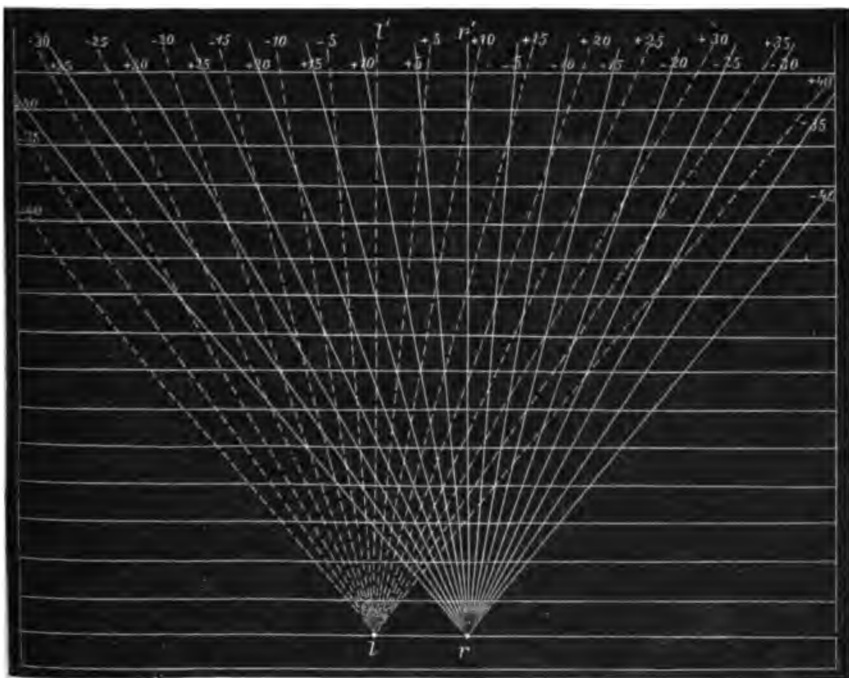


Fig. 44.

schwarzen, aber nur dann erscheinen alle drei parallel, wenn die Bilder der schwarzen Rosshaare auf der einen Netzhaut parallel zu demjenigen Netzhautmeridiane liegen, welcher mit dem, das Bild des weissen Rosshaares tragenden Meridiane der anderen Netzhaut correspondirt.

Die beiden Punkte (l und r Fig. 44) des Tisches, welche senkrecht unter dem Drehungspunkte der Augen liegen, sind markirt, und von jedem derselben ist eine gerade Linie (ll' und rr') nach der verticalen Tafel hingezogen, welche rechtwinklig auf die untere Grenzlinie der Tafel trifft. Ausser diesen beiden Linien, welche so zu sagen die Projection der parallel geradeaus gestellten Gesichtslinien auf den Tisch darstellen, strahlen

von den Punkten *l* und *r* noch andere Linien radienförmig aus, welche unter einander um 5⁰ abweichen; die von dem einen Punkte ausgehenden sind roth, die anderen sind schwarz gezeichnet. Diese Linien stellen die Projectionen der um entsprechende Winkel innerhalb der horizontalen Blickebene nach rechts oder links gerichteten Gesichtslinien dar. Ausserdem sind zahlreiche quere Linien parallel der Tafel und der Verbindungslinie der Augendrehpunkte über den Tisch gezogen, welche um je einen Centimeter von einander abstehen. An diesen Linien kann man, wenn man die Tafel dem Gesichte näher oder ferner bringen will, controliren, dass dieselbe immer der Verbindungslinie der Augendrehpunkte parallel bleibt. Zwei kleine Zeiger am untern Rande der Tafel gestatten zugleich zu controliren, ob die Tafel die richtige Mittelstellung hat. Die Zeiger müssen dann auf die Linie ll' und rr' des Tisches treffen. Schiebt man dann die Tafel entlang einer Querlinie seitwärts, bis z. B. die beiden Zeiger auf die beiden Linien des Tisches treffen, welche je um 10⁰ von den mittlen Linien ll' und rr' nach rechts abweichen, und stellt die Gesichtslinien wieder auf die Drehpunkte der beiden Messingstreifen ein, so weiss man, dass jede Gesichtslinie um 10⁰ nach rechts von der Medianebene abweicht. Man kann also durch Verschiebung der Tafel den immer parallel bleibenden Gesichtslinien jede beliebige Seitenwendung nach rechts oder links geben, und zugleich den Grad der Seitenwendung auf dem Tische ablesen. Neigt man jetzt den Kopf vorwärts, so giebt der Zeiger des Kopfhalters an einem Kreisbogen an, um wie viel man die Blickebene relativ zum Kopfe gehoben oder gesenkt habe. Die Blickebene selbst bleibt dabei immer horizontal und rechtwinklig zur Beobachtungstafel, welche man wieder bei jeder beliebigen Kopfneigung nach rechts oder links verschieben kann. Aus der Stellung endlich, welche man den beiden Messingstreifen geben muss, damit die drei Rosshaare parallel erscheinen, kann man ersehen, welche relative Lage die beiden mittlen Längsschnitte zu einander haben. Man kann dabei entweder beide Streifen aus der Verticallage ablenken oder auch nur einen; ersterenfalls kann man aus der Summe der beiden Ablenkungswinkel, letzterenfalls aus dem einfachen Ablenkungswinkel den Divergenzwinkel der mittlen Längsschnitte d. h. den Winkel berechnen, um welchen die eine Netzhaut um die Gesichtslinie verdreht werden müsste, damit beide mittle Längsschnitte parallel lägen.

Fick [1] und nach ihm Meissner [2] haben die Netzhautlage bei den verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie mit Hülfe des blinden Fleckes bestimmt. Doch giebt diese Methode minder genaue Resultate.

Drehung geradliniger Nachbilder bei einfacher Drehung des Auges. Angenommen, ein Auge befinde sich in der Primärstellung, seine Gesichtslinie liege horizontal und sei auf den Punkt *p* einer zur Gesichtslinie verticalen Wand gerichtet. Ist durch diesen Punkt auf der Wand ein verticaler farbiger Streifen gelegt, so wird derselbe sich auf dem verticalen Netzhautmeridiane

1 Fick, Molesch. Unters. V. S. 193.
2 Meissner, Ztschr. f. rat. Med. 3. R. VIII. S. 1. 1860.

abbilden und auf demselben bei anhaltender Fixation des Punktes *p* ein Nachbild erzeugen. Die ganze Wand sei durch verticale und horizontale Linien in Quadrate getheilt. Wird jetzt die Gesichtslinie bei unveränderter Kopfhaltung vertical nach oben und unten, oder horizontal nach rechts oder links verschoben, so erscheint, wie wir sahen, auch das Nachbild auf der Wand immer vertical; sobald aber der Blick in schräger Richtung auf- oder absteigt, erscheint das Nachbild schief. Analoges ist der Fall, wenn der farbige Streifen, dessen Nachbild man sich erzeugt hat, nicht vertical, sondern horizontal durch den Punkt *p* gelegt war. Oder hat man durch den Punkt *p* einen horizontalen und verticalen Streifen zugleich, d. h. ein farbiges rechtwinkliges Kreuz gelegt, so erscheint das Nachbild des Kreuzes rechtwinklig, ein Schenkel horizontal, der andere vertical, so lange der Blick auf eine durch den Punkt *p* gelegte horizontale oder verticale Linie der Wand gerichtet ist, das Kreuz erscheint dagegen schiefwinklig und seine Schenkel weder horizontal noch vertical, wenn der Blickpunkt irgend erheblich von jenen beiden Linien abweicht. Fig. 45 zeigt die Wand mit den horizontalen und verticalen Linien; das Kreuz in der Mitte bezeichnet das farbige Kreuz, durch dessen Fixirung das Nachbild erzeugt wird, die übrigen Kreuze bedeuten das Nachbild bei den verschiedenen Lagen des Blickpunktes. In *a*, *b*, *c* und *d* erscheint dasselbe verzerrt.

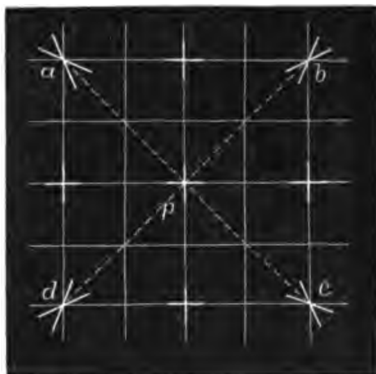


Fig. 45.

Diese Verzerrung ist eine Folge davon, dass die in Wirklichkeit rechtwinklig gekreuzten Linien der Wand sich auf der Netzhaut nicht auch rechtwinklig, sondern mit schiefwinkliger Durchkreuzung abbilden, sobald die Gesichtslinie in besprochener Weise schief zur Wand gestellt wird. Im Punkte *b* (Fig. 45) z. B. durchkreuzen sich auf der Wand eine horizontale und eine verticale Linie rechtwinklig; ist nun die Gesichtslinie auf diesen Punkt eingestellt, so projiciren sich die beiden Linien derart auf der Netzhaut, wie es die Linien *h h* und *v v* in Fig. 46 *A* darstellen, während das auf der Netzhaut liegende Nachbild des farbigen Kreuzes selbstverständlich nach wie vor rechtwinklig bleibt, wie es das Kreuz in derselben Figur zeigt. Da wir nun aber trotz dem schiefwinkligen Netzhautbilde die sich

kreuzenden Wandlinien doch rechtwinklig sehen, indem wir das verzerrte Netzhautbild auf ein zur Blickrichtung nicht rechtwinklig gelegenes, sondern der Frontalebene paralleles Sehfeld beziehen, und da wir also die vier Winkel *vah* (Fig. 46 *A*) sämmtlich als rechte sehen, so müssen wir nun umgekehrt die auf der Netzhaut rechten Winkel des Nachbildes schief sehen, und das Nachbild erscheint uns demnach wie in Fig. 46 *B*. Lediglich also die Art, wie wir das Netzhautbild in diesen Fällen auslegen, insbesondere der Umstand, dass wir trotz dem schiefwinkligen Netzhautbilde der verticalen und horizontalen Wandlinien dieselben doch nach wie vor vertical und horizontal sehen, ist die Ursache der besprochenen Verzerrung des Nachbildes.



Fig. 46.

Gesetzt nun, wir hätten durch den primären Punkt *p* auf der Wand nur einen verticalen farbigen Streifen gelegt, uns ein Nachbild desselben erzeugt und dann den Blick entlang der schrägen Linie *p b* bis zum Punkte *b* (Fig. 45) geführt, so würde das Nachbild während dieser Bewegung scheinbar seine Lage geändert und sich mit dem oberen Ende nach rechts gedreht haben. Diess könnte, wie in der That vielfach geschehen ist, zu dem Irrthume verleiten, das Auge habe während dieser Bewegung eine Rollung um die Gesichtslinie erlitten, während doch die Ursache der scheinbaren Drehung des Nachbildes lediglich darin liegt, dass die verticalen Linien der Wand sich nicht mehr auf dem in der Primärstellung verticalen Meridiane oder ihm parallel abbilden, sondern ihre Bilder auf der Netzhaut sich während der Bewegung in Folge abgeänderter Projectionsverhältnisse auf der Netzhaut verdrehen. Hätte während der primären Fixirung des Punktes *p* der farbige Streifen horizontal gelegen, und würde dann die Gesichtslinie geradenwegs von *p* nach *b* übergeführt, so würde das Nachbild des Streifens bei dieser Bewegung ebenfalls eine scheinbare Drehung erleiden, aber entgegengesetzt als vorhin das Nachbild des verticalen Streifens, nämlich so, dass das linke Ende des Nachbildes sich nach unten neigt. Diese Abhängigkeit der Richtung der scheinbaren Drehung des Nachbildes von seiner Anfangslage beweist schon, dass nicht eine Rollung des Auges um die Gesichtslinie die Ursache der Erscheinung sein kann. Hätte der

farbige Streifen und mithin auch sein Nachbild bei der Primärstellung in der, die Punkte p und b verbindenden Geraden oder senkrecht zu derselben gelegen, so würde das Nachbild bei geradliniger Ueberführung des Blickes von p nach b keinerlei scheinbare Drehung erlitten haben, wie oben gezeigt wurde.

Man hat also, wenn man aus der scheinbaren Drehung des Nachbildes Aufschluss über die Orientirung der Netzhaut gewinnen will, zunächst zu beachten, ob und inwieweit jene scheinbare Drehung durch die veränderte Gestalt und Lage des Netzhautbildes desjenigen Aussenobjectes bedingt ist, auf welchem das Nachbild erscheint, und mit dessen Linien und Conturen die Lage des Nachbildes verglichen wird.

Will man mit Hülfe eines Nachbildes bestimmen, ob und wie eine Rollung des Auges stattfindet, während der Blick entlang einer beliebig im Raume gelegenen geraden Linie sich fortbewegt, so ist es also am zweckmässigsten, den zur Erzeugung des Nachbildes benützten Streifen seiner Länge nach in die Linie selbst zu legen, wie wir dies oben bei der Prüfung des Listing'schen Gesetzes gethan haben; bewegt man dann den Blick entlang dieser Linie und bleibt das Nachbild nicht in derselben, sondern dreht es sich aus derselben heraus, so ist jedesmal eine Rollung des Auges erfolgt, und zwar in demselben Sinne, in welchem sich das Nachbild zu drehen schien, jedoch nicht auch um denselben Winkel, weil der Winkel der Drehung des Nachbildes nicht bloss von der Rollung des Auges abhängig ist, sondern auch je nach der Lage der Fläche, auf welcher das Nachbild erscheint, grösser oder kleiner gesehen werden kann.

Bewegung des Auges aus den Secundärstellungen. Listing hat schon eine besonders wichtige Consequenz des von ihm aufgestellten Gesetzes betont. Nennen wir sämmtliche Ebenen, welche wir uns durch die in der Primärstellung befindliche Gesichtslinie gelegt denken können, die primären Bahnebenen, so folgt aus jenem Gesetze, dass, wenn die Gesichtslinie sich in irgend einer andern Ebene bewegt, die wir eine secundäre Bahnebene nennen wollen, ihre Bewegung nicht durch einfache Drehung, sondern mit gleichzeitiger Rollung um die Gesichtslinie erfolgen muss.

Die Fig. 47 macht den Einfluss dieser Rollungen auf die Lage des Nachbildes anschaulich. Gesetzten Falls wir hätten, nachdem wir durch Fixirung von p in der Primärstellung das Nachbild eines kurzen verticalen Streifens erzeugt haben, den Blick nach p' gerichtet und von da aus entlang einer Verticalen hinauf oder hinab bewegt, so würde das Nachbild die in der Fig. 47 angegebenen

scheinbaren Lagen angenommen haben und sich also im Vergleich zur Verticalen verdreht haben. Dies beweist, dass das Auge während dieser Bewegung der Gesichtslinie, wobei letztere eine secundäre Bahnebene durchmass, zugleich eine Rollung um die Gesichtslinie erfahren hat. Denn wäre die Drehung des Auges ohne Rollung

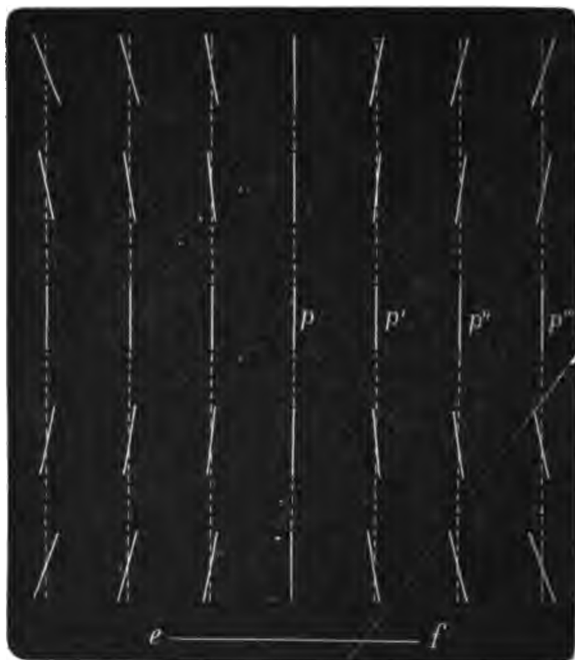


Fig. 47.

um eine zu dieser Bahnebene senkrechte Axe erfolgt, so wäre ja auch die Richtungslinienebene des Nachbildes immer in dieser Bahnebene und das Nachbild immer auf der Verticalen geblieben.

Die Fig. 47 zeigt überhaupt, welche scheinbaren Lagen ein ursprünglich verticales Nachbild beim Fernsehen auf einer verticalen Ebene bei den verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie annimmt, vorausgesetzt, dass die Gesichtslinie bei der Primärstellung in dem Punkte *p* senkrecht auf die Ebene trifft, dass ferner der das Nachbild erzeugende Streifen vertical durch den Punkt *p* geht, der Kopf trotz der Bewegung des Auges unverrückt festgehalten wird und dass *e f* die Grösse des directen Abstandes zwischen dem Drehpunkte des Auges und der verticalen Ebene ist. Denkt man sich diesen Abstand und die Figur in demselben Verhältnisse vergrössert, so passt

die Figur für jede beliebige grössere Entfernung des Auges von der Verticalebene. Da, so oft die Gesichtslinie beim Fernsehen wieder in dieselbe Stellung kommt, auch die Netzhaut immer wieder dieselbe Lage in der Orbita hat, so wird auch das ursprünglich verticale Nachbild immer wieder dieselbe scheinbare Lage zeigen, sobald der Blick, unveränderte (aufrechte) Stellung des Kopfes und der Objectebene vorausgesetzt, wieder auf denselben Punkt fällt. Die Fig. 47 giebt also zugleich ein Bild der Lageänderungen, welche das Nachbild erleidet, während der Blick in irgend einer beliebigen Richtung über die Ebene hingleitet.

Steigt der Blick von rechts unten nach rechts oben, so dreht sich, wie die Figur lehrt, das Nachbild in demselben Sinne, wie der Zeiger einer von uns betrachteten Uhr. Geht der Blick an derselben Linie herab, so ist die Drehung entgegengesetzt. Steigt der Blick von links unten nach links oben empor, so dreht sich das Nachbild mit dem oberen Ende nach links; bei Senkung des Blickes von links oben nach links unten aber nach rechts. In demselben Sinne, wie hier das Nachbild, wenn auch nicht um denselben Winkel, ist nun auch bei den beschriebenen Bewegungen das Auge um die Gesichtslinie gerollt worden. Wir nennen den Rollungswinkel positiv, wenn der in der Primärstellung verticale Meridian der Netzhaut sich, von hinten gesehen, so gedreht hat, wie der Zeiger einer Uhr; andernfalls negativ.

Lassen wir den Blick nicht eine verticale, sondern andersgerichtete geradlinige Bahnen auf der verticalen Ebene durchlaufen, so sehen wir auch Drehungen des Nachbildes eintreten; aber diese sind zum Theile oder ganz die Folgen der veränderten Projection der Verticallinien auf die Netzhaut und geben uns nicht mehr direct an, ob und in welchem Sinne eine Rollung erfolgt sei. Will man für solchen Fall wissen, ob und in welchem Sinne eine solche eintritt, so denkt man sich die Fig. 47 um ihren Mittelpunkt *p* so weit gedreht, bis die ursprünglich verticalen Linien der Figur mit derjenigen Linie parallel liegen, entlang welcher der Blick hingleiten soll. Die in der Figur verzeichneten Nachbildlagen geben dann die Richtung der Rollung an. Gesetzt die Linie, welche der Blick durchlaufen soll, ist um 45° gegen den Horizont geneigt, so muss man die Figur um 45° um ihren Mittelpunkt drehen. Ginge dann der Blick entlang der gegebenen Linie, z. B. von links unten nach rechts oben, so würde, falls diese Linie unterhalb der Primärstellung der Gesichtslinie vorbeiläuft, die Drehung des Nachbildes und die Rollung des Auges positiv und um so grösser sein, je weiter die Linie vom Mittelpunkte

p des Blickfeldes abliegt. Wird die Fig. 47 soweit gedreht, dass die Längslinien horizontal liegen, so lehrt sie, dass, wenn die Gesichtslinie entlang einer Horizontalen oberhalb der Primärstellung hingleitet, die Rollung negativ ist, dagegen positiv, wenn die horizontale Blickbahn unterhalb der Primärstellung liegt. —

Da nach Listing's Gesetz das Auge aus der Primärstellung in jede Secundärstellung durch einfache Drehung um eine zur Gesichtslinie senkrechte Axe gedreht werden kann, so folgt, dass bei Primärstellung der Gesichtslinie alle diese Axen in der zur Gesichtslinie senkrechten Ebene, d. i. in der Aequatorialebene des Auges liegen. Diese Ebene heisse die primäre Axenebene.

Unter den vielen rein mathematischen Consequenzen des Listing'schen Gesetzes ist eine schon von Helmholtz betonte von besonderem Interesse. Wie aus der Primärstellung, so kann nämlich auch aus jeder Secundärstellung das Auge um einen seiner Durchmesser als feste Axe in jede beliebige andere Stellung gedreht werden, wobei aber die Gesichtslinie nicht eine ebene Bahn beschreibt, sondern eine krumme und zwar die Fläche eines Kreiskegels. Alle diese Axen, um welche die Gesichtslinie aus einer Secundärstellung in jede beliebige andere Stellung gedreht werden kann, liegen wieder in einer Ebene, welche eine secundäre Axenebene heissen soll, die aber jetzt von der Aequatorialebene des Auges abweicht. Dieselbe ist leicht zu finden.

Ist die Gesichtslinie aus der Primärstellung a um die Axe A und um den Winkel φ in die Secundärstellung b gedreht worden, so hat sich nothwendig dabei auch die Aequatorialebene des Auges um dieselbe Axe und um denselben Winkel gedreht. Legen wir nun durch die Axe A eine Ebene, welche den Winkel φ hälftet, der von der primären und der secundären Lage der Aequatorialebene eingeschlossen wird, so ist diese Ebene die Axenebene der Secundärstellung b. Diese Ebene weicht also um den halben Winkel φ sowohl von der Aequatorialebene des Bulbus als von der Frontalebene ab, in welcher die primäre Axenebene lag. Mit jeder Wendung der Gesichtslinie aus der Primärstellung in einer primären Bahnebene dreht sich im Kopfe die Axenebene um dieselbe Axe, wie das Auge, aber nur mit halb so grosser Winkelgeschwindigkeit; in Bezug auf die Aequatorialebene des Augapfels aber ändert sie ihre Lage im entgegengesetzten Sinne, weil die Aequatorialebene der Axenebene immer um das Doppelte voraus ist. Im Augapfel also dreht sich die Axenebene genau mit derselben Winkelgeschwindigkeit wie im Kopfe, aber in entgegengesetztem Sinne.

In Fig. 48 ist *c* der Drehpunkt, *ca* die Gesichtslinie in der Primärstellung, *cb* die Gesichtslinie in einer Secundärstellung, *ee* der Durchschnitt der zur Ebene *acb* senkrechten Aequatorialebene des Auges bei der Primärstellung und zugleich der Durchschnitt der primären Axenebene, *e'e'* der Durchschnitt der Aequatorialebene für die Secundärstellung *b*, *εε* der Durchschnitt der zur Secundärstellung *b* gehörigen secundären Axenebene. —

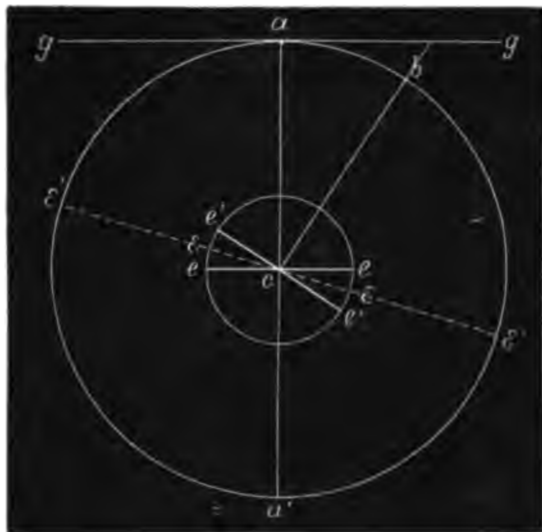


Fig. 48.

Denkt man sich das Auge aus der Secundärstellung *b* um die feste Axe *εε* um 360° gedreht, so beschreibt die Gesichtslinie *eb* eine Kreiskegelfläche, deren Axe in *εε* liegt und welche die Ebene der Zeichnung in *cb* und *ca'* durchschneidet. Die Gesichtslinie kommt also bei einer Drehung von 180° in die Linie *ca'*, d. i. in die Verlängerung derjenigen Linie zu liegen, in der sie sich bei der Primärstellung befand. Genau dasselbe würde gelten, wenn wir statt von der Secundärstellung *b* von irgend einer anderen in derselben Ebene befindlichen Secundärstellung ausgegangen wären.

Ist *aε'a'ε'* der Durchschnitt eines kugeligen Gesichtsfeldes, dessen Krümmungsmittelpunkt im Drehpunkte *c* liegt, und *a* der primäre Blickpunkt auf diesem Gesichtsfelde, so beschreibt die Gesichtslinie, wenn sie aus der Secundärstellung *b* um die Axe *εε* um 360° gedreht wird, auf diesem Gesichtsfelde einen Kreis, dessen Ebene senkrecht auf der Ebene der Zeichnung steht und dieselbe in *a'* und *b* durchschneidet. Dieser Kreis ist die Durchschnittslinie der kegelförmigen Bahn der Gesichtslinie mit dem kugeligen Gesichtsfelde. Da die Secundärstellung *b* beliebig in der gegebenen Ebene gewählt werden kann, so erhält man für jede in der letzteren gelegene Secundärstellung der Gesichtslinie einen solchen Kreis auf dem kugeligen Gesichtsfelde. Alle diese Kreise stehen auf der Ebene der Zeichnung senkrecht und berühren sich sämmtlich im Punkte *a'*. Eine in diesem

Punkte auf der Ebene der Figur errichtete Senkrechte ist die gemeinschaftliche Tangente aller dieser Kreise. HELMHOLTZ nennt den Punkt *a'* den Occipitalpunkt und die beschriebenen Kreise die Richtkreise des Gesichtsfeldes. Da die Ebene *aεa'ε* eine ganz beliebige Ebene des Ebenenbüschels sein kann, welches die Gesichtslinie in der Primärstellung zur Axe hat, so giebt es im kugeligen Gesichtsfelde zahllose Systeme solcher Richtkreise.

Wäre statt des kugeligen ein ebenes Gesichtsfeld gegeben, dessen Durchschnitt die Gerade *gg* wäre, so würde die Gesichtslinie, während sie aus einer Secundärstellung durch Drehung um eine feste Axe herausbewegt wird und dabei eine Kreiskegelfläche beschreibt, dieses ebene Gesichtsfeld in Hyperbeln schneiden, welche man erhält, wenn man sich die Richtkreise des kugeligen Gesichtsfeldes aus dem Drehpunkte *c* auf das zur primären Blicklinie senkrechte ebene Gesichtsfeld projicirt denkt. In Fig. 8 S. 371 stellen die Grenzlinien der schwarzen und weissen Felder zwei solche Systeme von Hyperbeln dar, wenn der Drehpunkt des primär gestellten Auges sich in der Entfernung *ee* senkrecht über dem Mittelpunkte der Figur befindet. HELMHOLTZ nennt diese Hyperbeln die Richtlinien des ebenen Blickfeldes.

Aus dem theoretisch abgeleiteten Satze, dass das Auge beim Fernsehen aus jeder beliebigen Stellung in jede beliebige andere durch Drehung um eine feste Axe übergeführt werden könnte, ohne gegen das LISTING'sche Gesetz zu verstossen, ist von Einigen der weitere Schluss gezogen worden[1], dass diese Art der Drehung auch in Wirklichkeit für gewöhnlich stattfinde, so oft die Gesichtslinie ohne bestimmt vorgeschriebene Bahn von einem Punkte zu einem andern geht. Dies ist nicht nur keineswegs bewiesen, sondern es sprechen sogar die oben (S. 450) mitgetheilten Versuche von WUNDT und LAMANSKY entschieden dagegen. Die Gesichtslinie durchläuft also, wenn sie bei fixirtem Kopfe von einer Stelle des Blickfeldes zu einer andern zwanglos übergeführt wird, nicht nothwendig die Richtlinien des Blickfeldes.

Was im Obigen als Rollung bezeichnet wurde, wird gewöhnlich Raddrehung genannt. Man hat aber auch unter Raddrehungswinkel den Winkel verstanden, um welchen der, bei der Primärstellung in der Blickebene gelegene Netzhautmeridian bei Secundärstellungen von der Blickebene abweicht, und welcher gleich ist dem Winkel, um welchen der bei der Primärstellung verticale Meridian von der zur Blickebene

---

1 KÜSTER, Arch. f. Ophthalmologie XXII. (1) S. 200—205. 1876 und DONDERS Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 379. 1876.

verticalen Lage abweicht. Aus dem Listing'schen Gesetze, welches jedoch, wie sich zeigen wird, nur für das in die Ferne sehende Auge gültig ist, folgt, dass der bei der Primärstellung verticale Meridian (wohl zu merken nicht der mittle Längsschnitt) mit dem oberen Ende nach links von der zur Blickebene verticalen Lage abweicht, und der primäre horizontale Meridian mit dem linken Ende unter die Blickebene gedreht ist, wenn die Gesichtslinie im rechten oberen oder linken unteren Viertel des Blickraumes liegt, während das Entgegengesetzte der Fall ist, wenn sie sich in den beiden anderen Vierteln befindet. Dabei ist der Blickraum als durch eine horizontale und eine verticale Ebene getheilt gedacht, welche durch diejenige horizontale Linie gelegt sind, mit der die Gesichtslinie in der Primärstellung zusammenfällt. Helmholtz hat die Winkel dieser Meridianabweichung für die verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie unter der Voraussetzung der strengen Gültigkeit des Listing'schen Gesetzes berechnet, und in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Die Abweichung der Blickebene von der primären Lage ist darin als Erhebung bezeichnet, da man die Senkung als negative Hebung betrachten kann. Die seitliche Abweichung von der meridianen Richtung, welche die Gesichtslinie in der gehobenen oder gesenkten Blickebene hat, ist als Seitenwendung bezeichnet. Die Tabelle gilt für alle vier Viertel des Blickraumes, nur muss man bedenken, dass im rechten oberen und linken unteren die Abweichung des primären Meridianes von der zur Blickebene verticalen Lage entgegengesetzt derjenigen ist, welche im linken oberen und rechten unteren Viertel eintritt.

Seitenwendung der Gesichtslinie.	Erhebung der Blickebene							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
5°	0°13'	0°26'	0°40'	0°53'	1°7'	1°20'	1°35'	1°49'
10°	0°26'	0°53'	1°19'	1°46'	2°13'	2°41'	3°10'	3°39'
15°	0°40'	1°19'	1°59'	2°40'	3°21'	4°2'	4°45'	5°29'
20°	0°53'	1°46'	2°40'	3°34'	4°29'	5°25'	6°22'	7°21'
25°	1°7'	2°13'	3°21'	4°29'	5°38'	6°48'	8°0'	9°14'
30°	1°21'	2°41'	4°2'	5°25'	6°48'	8°13'	9°39'	11°8'
35°	1°35'	3°10'	4°45'	6°22'	8°0'	9°39'	11°21'	13°6'
40°	1°49'	3°39'	5°29'	7°21'	9°14'	11°8'	13°6'	15°5'

Eine praktische Bedeutung würde die Kenntniss dieser von Helmholtz als Raddrehungswinkel bezeichneten Winkel insbesondere dann haben, wenn man nach der Substitutionsmethode Untersuchungen mit Hülfe eines zu den Gesichtslinien verticalen Gesichtsfeldes anstellt. In Betreff der Bedeutung, welche der Bewegung der Augen nach dem Listing'schen Gesetze für die räumliche Wahrnehmung, insbesondere während der Bewegung zukommt, sind diese Winkel ohne Interesse. Hier kommt es auf das an, was wir mit Hering die Rollung des Auges genannt haben.

Wir sind überhaupt im Obigen der Darstellung Hering's[1] gefolgt, weil

1 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen 1868.

die von Helmholtz gegebene Darstellung des Listing'schen Gesetzes eine Verwirrung insofern angerichtet hat, als vielfach der „Raddrehungswinkel“ (Helmholtz) verwechselt wurde mit dem Winkel der um die Gesichtslinie erfolgten Rollung, d. h. in der Terminologie der Mechanik, der auf die Gesichtslinie projicirten Drehung oder der in die Gesichtslinie fallenden Componente der Drehung. Diese Verwechslung lag für einen Leser, der das Listing'sche Gesetz noch nicht durchdacht hatte, um so näher, als Helmholtz[1] in seiner ersten Abhandlung sagte, er wolle „für die Drehung um die Gesichtslinie den bezeichnenden Namen der Raddrehung beibehalten, da sich die Iris dabei wie ein Rad um ihren Mittelpunkt dreht“; und zwei Seiten weiter: „Die Raddrehung des Auges wollen wir nun messen durch den Winkel, den der Netzhauthorizont“ (d. i. der mittle Querschnitt) „mit der Visirebene bildet.“ Ganz dieselben Definitionen wiederholen sich bei der zweiten Darstellung[2], welche Helmholtz von den Gesetzen der Augenbewegung gegeben hat. So oft sich aber die Gesichtslinie in einer primären Bahnebene bewegt, die nicht vertical oder horizontal ist, ergeben sich dann „Raddrehungswinkel“, ohne dass doch eine Rollung um die Gesichtslinie stattfindet.

Donders[3] und Hermann[4] haben Apparate zur Veranschaulichung des Listing'schen Gesetzes der Augenbewegungen angegeben.

Augenbewegung mit begleitender Kopfbewegung. Durch die willkürlichen Blickbewegungen werden die Netzhautbilder der ruhenden Aussendinge auf der Netzhaut verschoben. Die Bahn, welche ein bestimmtes Bild bei dieser Verschiebung auf der Netzhaut beschreibt, hängt ab von der Art der Bewegung des Auges und muss bei einer und derselben Ortsänderung der Gesichtslinie verschieden sein, je nachdem die Gesichtslinie mit oder ohne Rollung bewegt wird. So lange der Kopf, wie dies bei den obigen Versuchen der Fall war, feststeht, können wir bei jeder bestimmten Bewegung aus dem Listing'schen Gesetze für jeden beliebigen Aussenpunkt die Bahn seiner Bewegung auf der Netzhaut ableiten. Dies ist aber nicht mehr der Fall, wenn wir, wie dies beim gewöhnlichen Sehen meist der Fall ist, die Ortsveränderung des Blickpunktes nicht bloss durch Augenbewegung, sondern zugleich auch durch Kopfbewegungen bewirken. Denn diesenfalls hängt die Bahn eines Bildpunktes auf der Netzhaut nicht bloss von der Art der Drehung des Auges, sondern auch mit von derjenigen der begleitenden Kopfbewegung ab.

Helmholtz[5] giebt an, dass „die gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes nach demselben Principe geschehen, wie die der Augen,

1 Helmholtz, Arch. f. Ophthalmologie IX. (2) S. 154. 1863.
2 Derselbe, Physiol. Optik S. 462.
3 Donders, Arch. f. Ophthalmologie XVI. (1) S. 154. 1870.
4 Hermann, Arch. f. d. ges. Physiol. VIII. S. 305. 1874.
5 Helmholtz, Physiol. Optik S. 486.

wenn auch mit grösserer Freiheit veränderlich als die des Auges", d. h. mit andern Worten, dass der Kopf sich aus seiner Primärstellung heraus um eine Axe dreht, welche der Axe der gleichzeitigen Augendrehung annähernd parallel ist. Hiernach müsste, wenn wir den oben beschriebenen Nachbildversuch so wiederholen, dass dabei der Kopf sich zwanglos mitbewegen kann, im Uebrigen aber die Versuchsbedingungen die gleichen sind, auch das Nachbild bei den verschiedenen Bewegungen des Blickes auf der verticalen Wand sich annähernd ebenso verhalten, wie bei fester Kopfhaltung. Hering[1] hat jedoch darauf aufmerksam gemacht, dass zwischen dem Blicken mit fixirtem und dem mit frei beweglichem Kopfe insofern ein wesentlicher Unterschied besteht, als die Art der associirten Drehung des Kopfes die Rollung der Augen gerade bei den für die räumliche Wahrnehmung wichtigsten Bewegungen compensiren kann. Man findet nämlich bei Wiederholung des Nachbildversuches mit frei beweglichem Kopfe, wenn man mit dem Nachbilde eines bei Primärstellung fixirten verticalen Streifens im Auge den Blick auf einer der seitwärts gelegenen verticalen Schnüre auf- und absteigen lässt, dass das Nachbild diese Verticalen immer nahezu deckt. Dabei wendet man den Kopf, wie oben S. 438 schon erörtert wurde, seitwärts. Würde man ihn soweit wenden, dass die eben betrachtete Verticalschnur in seine Medianebene zu liegen käme, so wäre das Ergebniss des Versuches selbstverständlich. So aber folgt daraus, dass die zu erwartende Rollung des Auges durch die Art der Kopfbewegung nahezu compensirt werde. Wiederholt man den Versuch mit einem horizontalen Nachbilde und lässt den Blick an den höher oder tiefer gelegenen horizontalen Schnüren hingleiten, so sind die Neigungen des Nachbildes zur Horizontalen nur um weniges kleiner, als wenn man den Versuch mit festgehaltenem Kopfe anstellt. Es folgt hieraus, dass der Kopf sich nicht nach demselben Principe bewegt, wie die Augen, was, wie wir weiter sehen werden, nicht ohne wesentliche Bedeutung für die räumliche Wahrnehmung ist.

Ritzmann hat mit Hülfe des oben (S. 440) beschriebenen Visirzeichens auch die Lage der Axen zu bestimmen versucht, um welche die associirten Kopfbewegungen erfolgen. Er giebt an, „dass für Blickbewegungen in horizontaler und verticaler Bahn die Kopfbewegung um eine verticale, beziehungsweise horizontale Axe stattfindet." Individuell verschieden fand er „die Richtung der Kopfbewegung für Blickexcursionen in schiefer Richtung." „Es kommen, wie er sagt, hierbei Abweichungen der Kopfbewegung von dem, dem Listing'schen Gesetze analogen Ver-

1 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen S. 106. 1868.

halten vor."[1] Ein bestimmtes Gesetz dafür hat er nicht angegeben. „Die Frage, ob der Kopf bei Betrachtung desselben Punktes dieselbe Stellung habe, unabhängig von dem Wege, auf dem er zu dessen Betrachtung gelangt, muss, sagt Ritzmann[2], in strengem Sinne genommen, negativ beantwortet werden." Doch fand er „eine Andeutung eines solchen Verhaltens."

III. Die Augenbewegungen beim Nahsehen.

Wenn das Gesetz Listing's mit der von ihm angenommenen und von Helmholtz experimentell nachgewiesenen Primärstellung auch beim Nahsehen giltig wäre, so würde sich aus demselben auch für jede Convergenzstellung oder, wie wir sie nennen wollen, Nahstellung der Gesichtslinien die Lage des Auges und seiner Mittelschnitte ableiten lassen. Es würde sich dabei ergeben, dass die in der Primärstellung horizontalen Meridiane bei jeder Convergenz innerhalb der primären Blickebene dieselbe nicht verlassen, dass sie dagegen bei jeder symmetrischen Nahstellung in gehobener Blickebene mit ihrem äusseren Ende unterhalb der Blickebene liegen, wobei sie nach oben convergiren würden. Umgekehrt müssten nach jenem Gesetze die in der Primärstellung horizontalen Meridiane nach unten convergiren, sobald die Gesichtslinien bei gesenkter Blickebene symmetrisch convergiren. Die Abweichungen der mittlen Querschnitte von der Blickebene müssten um so stärker sein, je stärker die Hebung oder Senkung der Blickebene und je stärker die Convergenz wäre.

Aber schon ehe Helmholtz die Giltigkeit des Listing'schen Gesetzes für die Fernstellungen des Blickes und das Fernsehen erwiesen hatte, war insbesondere von Meissner[3] und v. Recklinghausen[4] gezeigt worden, dass die Augen bei symmetrischer Convergenz der Gesichtslinien ganz andere Stellungen haben, als nach Listing's Gesetz zu erwarten war. Später machte Volkmann[5] vereinzelte hierher gehörige Beobachtungen. Er fand, dass „bei Convergenz auf einen 30 cm. entfernten Punkt in der Horizontalebene der Divergenzwinkel der mittlen Längsschnitte von $2^0,15$ bis auf $4^0,16$ stieg, so dass ihre Abweichung von der verticalen Lage um etwa 1^0 wuchs; bei stärkerer Convergenz auf 20 cm. Abstand nahm

1 Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 131—143. 1875.
2 Ebenda S. 146.
3 Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.
4 v. Recklinghausen, Arch. f. Ophthalmologie V. (2) S. 173. 1859.
5 Mitgetheilt von Helmholtz, Physiol. Optik S. 523.

diese Abweichung um weitere 0°,37 zu. Wenn Volkmann einen verticalen farbigen Streifen bei Parallelstellung fixirte und dann, ohne die Gesichtslinie des einen Auges zu verrücken, die andere auf einen in der ersten Gesichtslinie gelegenen nahen Punkt einstellte, so erschien das Nachbild nun gegen den Streifen verdreht, Beweis, dass das Auge in demselben Sinne um die feststehende Gesichtslinie gerollt worden war, und dass also bei derselben Stellung einer Gesichtslinie relativ zum Kopfe das Auge verschiedene Lagen in der Orbita hat, je nachdem die zweite Gesichtslinie parallel oder convergent zur ersten ist.

Helmholtz[1] fand analoge, doch viel schwächere Abweichungen. Donders[2] solche bis zu 3°. Hering[3] untersuchte dann nach der Substitutionsmethode die Augenstellungen bei verschiedenen Lagen der Blickebene, verschiedenen Graden der Convergenz und sowohl bei symmetrischer als bei unsymmetrischer Convergenz der Gesichtslinien, und kam zu dem allgemeinen Ergebniss[4], dass (von den Hebungen der Blickebene abgesehen) „die mittlen Längsschnitte bei symmetrischen Convergenzstellungen mit dem obern Ende weiter nach aussen, beziehentlich weniger nach innen geneigt sind, als das Listing'sche Gesetz fordert, und dass diese Abweichung einerseits mit der Zunahme des Convergenzwinkels, andererseits mit der Senkung der Blickebene und äussersten Falls beinahe auf 5° wächst"; dass ferner bei unsymmetrischer Convergenz die relative Lage beider Netzhäute zu einander und somit die Divergenz der mittlen Längs- oder Querschnitte sich nicht sehr erheblich anders zeigt, als bei gleich starker symmetrischer Convergenz.

Donders[5] fand später bei 17 Personen Zunahme der Divergenz der mittlen Längsschnitte bei Convergenz in der primären Blickebene bis zu 5°. Analoge Ergebnisse erhielt le Conte.[6] Landolt[7] machte eine grosse Reihe von Versuchen bei symmetrischer Convergenz und verschiedener Neigung der Bickebene nach ähnlicher Methode und mit analogem Ergebniss wie Hering. Nur Dobrowolsky[8] erhielt ganz abweichende

---

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 469.
2 J. B. Schuurman vergelijkend Onderzoek. van het og. Utrecht 1863 (citirt nach Helmholtz, Physiol. Optik S. 524).
3 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen 1868.
4 l. c. S. 96.
5 Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 419. 1876.
6 le Conte, American Journal of science and arts. XLVII. 2. p. 153 (citirt nach Nagel's Jahresber. f. Ophthalmologie 1872).
7 Landolt, Handb. d. ges. Augenheilk. II. (2) S. 660. 1876.
8 Dobrowolsky, Arch. f. Ophthalmologie XVIII. (1) S. 53. 1872.

Resultate; doch fehlen bei ihm Angaben über die unerlässlichen Controlvorrichtungen.

Meissner fand, dass seine Augen, wenn sie in einer um 45° gegen den Horizont geneigten Blickebene aus der Parallelstellung bis auf 40° convergirten, keine Rollung erlitten, Recklinghausen dasselbe für eine Neigung der Blickebene von 35° und Convergenz bis auf 50°. Beide kannten die Primärstellung noch nicht, und es fragt sich also, inwieweit die von ihnen zum Ausgang gewählte Blickebene (von 0° Neigung) der primären Blickebene nahe kam. Für Meissner standen bei Neigung der Blickebene um 45° die mittlen Längsschnitte vertical, für Recklinghausen lagen bei Neigung der Blickebene um 35° die mittlen Querschnitte in der Blickebene.

Hering konnte keine Lage der Blickebene finden, bei der starke Convergenz ohne alle Rollung verlaufen wäre, doch war sie bei Neigung der Blickebene um 25° am geringsten. Donders[1] theilte mit, dass für fünf verschiedene Beobachter bei einer bestimmten Neigung der Blickebene, die zwischen 20 und 27° lag, die queren Mittelschnitte bei allen symmetrischen Convergenzgraden in der Blickebene blieben; bei einem sechsten Beobachter variirte diese Neigung zwischen 20 und 30°.

Ueber die Stellung der Augen bei gehobener Blickebene und Convergenz vergleiche die erwähnten Untersuchungen von Meissner, Recklinghausen, Hering und Landolt. —

Meissner fixirte einen in der Medianebene gelegenen Punkt und beobachtete dabei die Doppelbilder einer hinter dem Blickpunkte in der Medianebene gelegenen Geraden. Diese Doppelbilder erscheinen im Allgemeinen nicht parallel, sondern man muss, wenn dies der Fall sein soll, die Gerade in eine zur Längshoropterfläche nahezu parallele Lage bringen und kann nun aus der Lage der Geraden die Lage der mittlen Längsschnitte berechnen. Diese Methode und die Art der Berechnung hatte zwar, wie Hering[2] zeigte, einige nicht unwesentliche Fehlerquellen, indessen konnte man doch schon aus Meissner's Angaben erhebliche Abweichungen von Listing's Gesetz erkennen.

v. Recklinghausen untersuchte nach der Substitutionsmethode und zwar mit einer in der Blickebene parallel der Frontalebene gelegenen Linie, welche sich in ihrem Mittelpunkte derart knicken liess, dass beide Hälften derselben um gleiche Winkel in der zur Medianlinie senkrechten Ebene über die Blickebene erhoben oder unter dieselbe gesenkt werden konnten, während die Spitze des so gebildeten Winkels immer im Blickpunkte liegen blieb. In die Medianebene brachte er einen bis an den Mittelpunkt der Linie reichenden Schirm, so dass jedes Auge nur die eine Hälfte der Linie sah, wenn der Mittelpunkt derselben binocular fixirt wurde. Aus dem Winkel, um welchen beide Linienhälften gehoben oder gesenkt werden mussten, damit die Linie nicht mehr geknickt sondern gerade erschien, liess sich der Winkel berechnen, um welchen die mittlen Querschnitte von der Blickebene abwichen.

Hering benutzte die oben (S. 482) beschriebene Vorrichtung. Die

1 Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 419. 1876.
2 Hering, Beiträge zur Physiologie III. § 88.

beiden Messingstreifen, welche die Beobachtungslinie trugen, wurden einander soweit genähert, dass sie nur noch um die halbe Distanz der beiden Drehpunkte der Augen von einander abstanden. Stellte er nun die linke Gesichtslinie auf den Drehpunkt des rechten, die rechte auf den des linken Messingstreifens ein, so konnte er wieder ganz analog verfahren, wie bei den Parallelstellungen. Senkrecht unter dem Drehpunkte jedes Streifens trug die Tafel am unteren Rande je eine Marke; diese Marken wurden in der beschriebenen Weise auf die radienartigen Linien des Tisches eingestellt, welche die Seitenabweichung der Gesichtslinie nach Graden angaben. Wenn also z. B. die linke Marke gerade auf den mit + 20° bezeichneten Radius des rechts gelegenen Radiensystems zu liegen kam, die rechte Marke auf den mit + 20° bezeichneten Radius des linken Radiensystemes (Fig. 44 S. 483), so convergirten die Gesichtslinien um 40°, falls die linke auf den Drehpunkt des rechten, die rechte auf den Drehpunkt des linken Messingstreifens eingestellt war. Uebrigens stand es frei, die beiden Messingstreifen einander noch mehr zu nähern, oder auch bei schwächeren Convergenzgraden die linke Gesichtslinie auf den linken, die rechte auf den rechten Streifen einzustellen. Bei den stärksten Convergenzgraden wurde den beiden Messingstreifen wieder die ursprüngliche Distanz der Augendrehpunkte gegeben.

Le Conte bediente sich der auf S. 369 abgebildeten Gitter, welche er so gegeneinander drehte, bis sie, haploskopisch vereinigt, parallel schienen oder sich deckten.

Donders[1] untersuchte auf verschiedene Weise. Einmal bediente er sich einer schon S. 358, Anm. 2 erwähnten Methode. Sein Apparat, den er Isoskop nennt, besteht aus „1) einem rechtwinkligen festen Rahmen *A, B, C, D* (Fig. 49), welcher an der oberen Seite eine unbewegliche Scale *S* von beinahe 60° trägt; 2) einem beweglichen Rahmen, dessen Leisten *a, b, c, d* durch Schrauben 1, 2, 3, 4 beweglich verbunden sind, so dass er Rautenform annehmen kann, wobei die horizontalen Leisten *a, b* horizontal bleiben, die verticalen *c, d* unter vollkommen gleichen Winkeln seitlich geneigt sind: diese letzten sind genau in ihrer Mitte gleichfalls durch Schrauben 5, 6 mit den correspondirenden Punkten des festen Rahmens beweglich verbunden. Eine der verticalen Leisten *d* des beweglichen Rahmens trägt eine Scale mit Nonius *n*, beweglich über der festen Scale und genau die Neigung

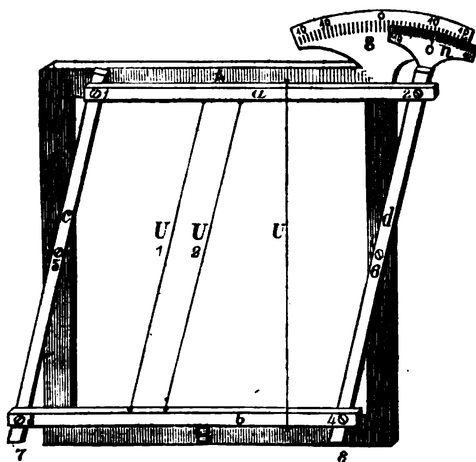


Fig. 49.

1 Donders, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (3) S. 107. 1875.

der Leisten anzeigend, was in Zehnteln von Graden abgelesen, in Hundertsteln geschätzt werden kann. Gleiche Neigung erhalten die ursprünglich verticalen Fäden U^1, U^2, während der im Rahmen ausgespannte Faden U seine verticale Richtung unveränderlich behält. Ist dieser von U^1 etwas weiter entfernt als die Knotenpunkte des rechten und linken Auges, dann sieht man, bei parallelen Blicklinien, die Halbbilder von U und U^1 nahe bei einander und kann sie durch Drehen des Rahmens mit der Hand an einem der unteren Enden 7 oder 8 der Leisten *c* oder *d* scheinbar parallel stellen." Giebt man den Fäden U und U^1 (oder U^2) von vornherein einen kleineren gegenseitigen Abstand, so kann man bei beliebiger Convergenz der Gesichtslinien untersuchen.

Vor diesem Apparate wurde ein Kopfhalter nach Analogie des oben beschriebenen aufgestellt.

Bei einem anderen Versuche benutzte Donders[1] wieder den Kopfhalter und eine Objectebene, welche mittels zweier Arme an den Säulen des Kopfhalters so fixirt war, dass man sie um die durch die beiden Drehpunkte der Augen gelegte Linie (die Grundlinie) drehen konnte. Zugleich konnte dieselbe dem Gesichte näher oder ferner gestellt werden. Die Objectebene blieb, wenn jede Gesichtslinie auf den Fixationspunkt ihrer Seite gerichtet war, immer senkrecht zur Blickebene. Donders bestimmte nun bei horizontaler Blickebene mittels Halblinien nach Hering's Methode[2] die Lage der mittlen Längs- oder Querschnitte. Dann schob er die Fixationspunkte näher zusammen oder fixirte mit gekreuzten Gesichtslinien und drehte die horizontalen Halblinien, bis sie eine scheinbare Gerade gaben, und konnte so die Abweichung der queren Mittelschnitte an der Blickebene für verschiedene Convergenzen und Neigungen der Blickebene berechnen.

Er nannte das Instrument Horopteroskop, weil er damit auch den ebenen Meridianhoropter (vergl. oben S. 379) demonstriren konnte, zu welchem Zwecke die Objectebene um ihre horizontale Queraxe zur Blickebene geneigt werden konnte.

Oben (S. 497) sahen wir, dass durchschnittlich mit der Senkung der Blickebene auch die Convergenz wächst und umgekehrt. Mit wachsender Senkung der Blickebene und gleichzeitig wachsender Convergenz würde aber nach dem Listing'schen Gesetze auch der Neigungswinkel der mittlen Querschnitte zur Blickebene wachsen. Aus dem von Hering gefundenen Satze über die Abweichungen von diesem Gesetze bei Convergenzstellungen ergiebt sich aber, dass die nach Listing's Gesetz zu erwartenden Neigungen der mittlen Querschnitte zur Blickebene, wobei die Ebenen ihrer Richtungslinien einen nach oben offenen Winkel bilden würden, dadurch compensirt wird, dass die wirkliche Lage der Querschnitte im entgegengesetzten Sinne von der erwarteten abweicht.

---

1 Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 395. 1876.
2 Siehe oben Cap. I.

Es fragt sich nun, ob diese Compensirung eine derartige ist, dass dadurch der Parallelismus der queren Mittelschnitte für diejenigen Convergenzen resultirt, welche bei Betrachtung eines nahen, angenähert oder wirklich horizontalen Objectfeldes benutzt werden. Ein einfacher Versuch lehrt, dass dies im engeren Blickfelde der Fall ist. Man lege vor sich auf den Tisch ein grosses Blatt Papier, auf welchem eine gerade Linie gezogen ist, die, wenn man gerade vor dem Papier sitzt, in die Medianebene des Kopfes zu liegen kommt. Ferner bringe man zwischen Kopf und Papier in die Medianebene eine Pappe, welche nicht ganz bis auf das Papier reicht, so dass jedes Auge die Linie auf demselben eben noch sehen kann, wenn man den Blick auf derselben hinwandern lässt. Fixirt man jetzt bei ganz zwangloser, gewohnheitsgemässer Kopfhaltung einen Punkt der medianen Linie und schiebt von der Seite her eine lange Stricknadel genau in querer Richtung über den Fixationspunkt weg, so dass die Nadel halb links halb rechts zu liegen kommt, so erscheint sie als eine Gerade, obwohl man ihre linke Hälfte nur mit dem linken, ihre rechte nur mit dem rechten Auge sieht.

Dies beweist, dass die mittlen Querschnitte der Netzhäute in der Blickebene liegen, denn andernfalls würden die beiden Halbbilder der Nadel einen Winkel mit einander machen. Schiebt man jetzt, ohne den Kopf zu verrücken, die Nadel vom Gesichte weg oder nach demselben hin, ohne ihre quere Richtung zu ändern, und folgt mit dem Blicke entlang der medianen Linie, so erscheint die Nadel noch eine ziemliche Strecke gerade, dann aber erhält sie eine schwache Knickung derart, dass bei zu grosser Entfernung der Nadel die Oeffnung des stumpfen Winkels der Knickung vom Gesichte weg, bei zu grosser Näherung ihm zugewendet ist. Führt man aber die letztbeschriebene Blickbewegung zwanglos aus, welchen Falls dann der Kopf sich etwas daran betheiligt, so bleibt die Knickung der Nadel auch bei etwas stärkeren Excursionen des Blickes längs der medianen Linie aus. Schiebt man ferner das Blatt mit der Linie seitwärts, so dass letztere parallel der Medianebene bleibt und dreht auch den Schirm mit seinem unteren Rande entsprechend zur Seite, so kann man den Versuch innerhalb ziemlich weiter Grenzen mit analogem Erfolge bei unsymmetrischen Convergenzstellungen wiederholen, woraus sich ergiebt, dass auch hierbei immer correspondirende Meridiane, wenn auch nicht die mittlen Querschnitte, in der Blickebene liegen.

Die mediane Linie der Tafel ist bei dem eben beschriebenen Versuche mit der Nadel nicht in der Lage, sich correspondirend ab-

zubilden, falls die Tafel nicht mit dem ferneren Ende gehoben ist, so dass sie den Längshoropter tangirt und nahezu mit dem Meridianhoropter zusammenfällt. Man braucht nur vor das eine Auge von unten, vor das andere von oben her in etwa 10 cm. Entfernung einen kleinen Schirm zu halten, der dem einen Auge die obere, dem andern die untere Hälfte der Geraden auf der horizontalen Tafel verdeckt, und man wird eine scheinbare Knickung derselben sehen, weil die fernere Hälfte der Geraden jenseits, die nähere diesseits der Längshoropterfläche gelegen ist, und die Gerade sich daher nicht auf dem mittlen Längsschnitte abbilden kann.

Man kann sich den oben erwähnten Satz von den Abweichungen vom Listing'schen Gesetz beim Nahsehen auch so veranschaulichen, dass man die Augen zunächst auch bei den Convergenzstellungen nach dem Listing'schen Gesetze gestellt denkt und sich weiter vorstellt, beide Augen erführen nun eine Rollung um die Gesichtslinie derart, dass die mittlen Querschnitte sich mit ihrer schläfenwärts liegenden Hälfte solange gleichviel senken, bis sie parallel liegen, was bei symmetrischer Convergenz zugleich bedeutet, dass sie in die Blickebene zu liegen kommen; und zwar müsste diese symmetrische Rollung um so stärker sein, je stärker die Convergenz und je mehr die Blickebene gesenkt ist. Daraus folgt zugleich, dass auch bei unsymmetrischer Convergenz die beiden mittlen Querschnitte parallel zur Blickebene geneigt sind und zwar so, dass sie, wenn der Blickpunkt rechts von der Medianebene liegt, mit ihrer rechten Hälfte, wenn er links liegt, mit ihrer linken Hälfte unter der Blickebene sind. Es gilt dies Alles jedoch genauer nur für das engere Blickfeld.

Um sich dies Verhalten durch den directen Versuch zu veranschaulichen, überziehe man eine ebene Tafel, z. B. eine Glasscheibe von mässiger Grösse mit weissem Papier, welches mit einem quadratischen Gitter von schwarzen Parallellinien derart bedeckt ist, dass zwei der Linien sich im Mittelpunkte der Tafel rechtwinklig kreuzen. Diese Tafel lege man vor sich auf den Tisch, so dass ihr Mittelpunkt in der Medianebene des Kopfes und in mittler Blickweite liegt und die Linien parallel der Medianebene und der Frontalebene laufen. Durch die Mitte der Tafel lege man in querer Richtung einen halb blauen, halb gelben Streifen, so dass die Grenzlinie der beiden Farben den queren Linien der Tafel parallel ist. Den markirten Mittelpunkt dieser Linie fixire man anhaltend und lasse dann mit dem Nachbild im Auge den Blick ohne begleitende Kopfbewegung nach rechts oder links wandern. Dabei dreht sich das Nachbild der Grenzlinie stets positiv (wie ein Uhrzeiger), wenn der Blickpunkt aus der Median-

ebene in die rechte, negativ, wenn er in die linke Hälfte des engeren Blickfeldes übergeht, um so stärker, je mehr die Blickebene gesenkt wird. Da, wie oben gezeigt wurde, die queren Mittelschnitte bei diesen Blickbewegungen immer nahezu parallel bleiben, so kann man mit binocularem Nachbilde experimentiren. Zur Controle kann man aber auch das Nachbild nur in einem Auge erzeugen und dann das andere Auge wieder öffnen. Doch ist dabei zu bedenken, dass während der Erzeugung des einäugigen Nachbildes beide Augen auf den Mittelpunkt der Tafel gerichtet sein sollen.

Dieser Versuch zeigt zugleich, dass es keinen Punkt auf der Mittellinie der Tafel giebt, der mit dem primären Blickpunkt beim Fernsehen insofern verglichen werden könnte, als von ihm aus der Blick in jeder geraden Richtung auf dem ebenen Blickfelde wandern könnte, ohne dass die Augen eine Rollung erführen.

Es handelt sich also nicht etwa um irgend welche neue, für das Nahsehen bestimmte Primärstellung. Auch wenn man die Tafel so zur Blickebene neigt, dass ihre mediane Linie mit der Geraden des Längshoropters und sie selbst mit dem Meridianhoropter zusammenfällt, und also die günstigste Lage dafür gegeben ist, dass sich auf der Tafel angebrachte Figuren möglichst correspondirend abbilden, ändert sich an dem Ergebnisse des Versuchs nichts Wesentliches. Ob bei dieser Lage des ebenen Blickfeldes der Parallelismus der queren Mittelschnitte in etwas weiteren Grenzen erhalten bleibt, was theoretisch viel für sich hat, wäre noch zu untersuchen.

Endlich sei erwähnt, dass auch dann keine mechanische Analogie mit dem LISTING'schen Gesetze gefunden wird, wenn man das Blickfeld rechtwinklig zur Blickebene anbringt, eine Lage desselben, welche wir beim Nahsehen vermeiden; denn entweder liegen die aus der Nähe betrachteten Dinge auf dem Tische, und dann neigen wir den Kopf, jedoch nicht soweit, dass die Ebene des Tisches senkrecht zur Blickebene liegt, oder wir halten die Dinge, z. B. ein Bild, in der Hand, dann neigen wir den Kopf weniger und halten das Bild so, dass es nahezu in den Längshoropter zu liegen kommt.

Dagegen besteht zwischen dem LISTING'schen Gesetze der Augenbewegung für das Fernsehen und dem oben mitgetheilten Gesetze für das Nahsehen allerdings eine grosse optische Analogie: beide erfüllen das Princip des grössten Horopters, wie es MEISSNER gefordert hat, d. h. sie erfolgen beim gewöhnlichen Sehen so, dass die grösstmögliche Correspondenz der Netzhautbilder erreicht wird.

Im Interesse dieser Correspondenz werden unter besonderen Umständen auch Bewegungen und Stellungen der Augen herbeigeführt,

zu welchen beim gewöhnlichen Sehen gar keine oder nur geringe Veranlassung gegeben ist. Man kann diese Bewegungen bezeichnen als

IV. Aussergewöhnliche Augenbewegungen im Interesse des Einfachsehens.

Wenn man correspondirend liegende identische Druckschriften oder Zeichnungen mit parallelgerichteten Gesichtslinien haploskopisch zur Deckung gebracht hat und dann die eine innerhalb ihrer Ebene ein wenig um den Fixationspunkt dreht, so führen, wie Nagel [1] gefunden hat, die Augen eine kleine Rollung um ihre Gesichtslinie aus, durch welche die Bilder der beiden Zeichnungen wieder die möglichst correspondirende Lage auf den Netzhäuten erhalten. Hierzu würde an sich genügen, dass nur das eine Auge eine Rollung um denselben Winkel ausführt, um welchen die ihm gegenüberliegende Zeichnung gedreht wurde. In Wirklichkeit aber werden statt dessen beide Augen in symmetrischer Weise um denselben Winkel gerollt; höchstens ist, wie Nagel [2] meint, die Rollung desjenigen Auges, dessen Netzhautbild verdreht wurde, etwas stärker als die des andern. Dieselben Rollungen zeigen die Augen, wenn man die Correspondenz der Netzhautbilder dadurch aufhebt, dass man beide Zeichnungen in entgegengesetzter Richtung ein wenig um den Fixationspunkt dreht. Um auf diese Weise ziemlich starke Rollungen der Augen herbeizuführen, muss man die Drehung der Zeichnungen sehr langsam ausführen oder mit Unterbrechungen allmählich verstärken, weil sonst die Rollung hinter der Drehung zurückbleibt und das haploskopische Bild in Doppelbilder zerfällt. Immer sind selbst die stärksten hierbei erreichten Rollungen klein und überschreiten nach Nagel's Angabe nicht 5° für jedes Auge, was einer gegenseitigen Verdrehung der Bilder um 10° entspricht.

Diese Rollungen im Interesse der Herstellung möglichster Correspondenz der Netzhautbilder treten jedoch kaum ein, wenn die Bilder ausschliesslich oder auch nur vorwiegend verticale oder stark zur Horizontalen geneigte Conturen enthalten. Denn solche geben im Wesentlichen querdisparate Netzhautbilder, welche durch kleine Aenderungen des Convergenzwinkels Punkt für Punkt leicht zur Deckung gebracht werden können, soweit sie nicht schon mit disparaten Stellen einfach gesehen werden.

Enthalten aber die Zeichnungen vorwiegend horizontale Punkt-

1 Nagel, Das Sehen mit zwei Augen S. 51. 1861.
2 Derselbe, Arch. f. Ophthalmologie XIV. (2) S. 235. 1868.

reihen und Conturen, so geben diese bei der Verdrehung längsdisparate Netzhautbilder, es entstehen Doppelbilder, die sich durch Convergenzänderungen nicht Punkt für Punkt beseitigen lassen, und diese Doppelbilder erzeugen jenes unbehagliche Gefühl, welches Jeder beim Sehen im Stereoskope erfährt, wenn die Verschmelzung der beiden Bilder nicht gelingt. Diese Doppelbilder und das durch sie bedingte Unbehagen können hier nur durch Rollungen der Augen beseitigt werden.

Bietet man den Augen von vornherein zwei etwas gegeneinander verdrehte gleiche Bilder zur haploskopischen Vereinigung, so bleibt letztere trotz zahlreichen horizontalen Conturen aus, wenn die gegenseitige Verdrehung der Bilder wenige Grade übersteigt. Man muss dann zum Zwecke der Verschmelzung erst die Bilder wieder in eine nahezu correspondirende Lage zurückbringen und nach erfolgter Verschmelzung langsam weiter drehen, wie oben beschrieben wurde.

Helmholtz [1] fand unabhängig von Nagel und nach einer andern Methode Rollungen der Augen bis zum Betrage von 7° für beide Augen zusammen. Wenn man zwei rechtwinklige Prismen hintereinander so vor ein Auge hält, dass ihre Hypotenusenflächen parallel, aber nach entgegengesetzten Seiten, und je zwei Kathetenflächen ebenfalls parallel und die Kanten rechtwinklig zur Richtung der Gesichtslinie liegen, so erscheinen alle Objecte in unveränderter Lage (abgesehen von einer kleinen scheinbaren Näherung oder Vergrösserung). Die Dinge werden nämlich erst von der Hypotenusenfläche des vom Auge entfernteren, dann von der des näheren Prismas gespiegelt und erfahren also eine zweimalige Umkehrung ihres Bildes. Man kann dabei die Prismen so gegeneinanderstellen, dass der Strahl, welcher vor dem Eintritt ins entferntere Prisma mit der Gesichtslinie zusammenfällt, dasselbe auch nach seinem Austritt aus dem näheren Prisma thut.

Dreht man nun das eine Prisma um diesen Strahl als Axe, so erleiden die Dinge eine Scheindrehung um den fixirten Punkt, sodass also auch ihr Netzhautbild in ganz analoger Weise verdreht wird, wie bei den oben beschriebenen Versuchen.

Legt man die Prismen mit zwei Kathetenflächen aneinander und dreht dann das eine um die zu diesen Flächen senkrechte Axe, so tritt, wie Hering [2] gegen Helmholtz's erste Beschreibung des Versuchs einwandte, eine Scheinverschiebung der Objecte nach oben oder unten und seitwärts

---

1 Helmholtz, Verh. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg 1865. S. 258 und Physiol. Optik S. 476.
2 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen S. 61.

hinzu, wodurch der Versuch unrein wird, weil die Augen im Interesse der Correspondenz der Bilder zu complicirteren Bewegungen gezwungen werden.

Hering (l. c.) konnte anfangs weder mit Hülfe von Doppelzeichnungen noch nach der Methode von Helmholtz Rollungen seiner Augen herbeiführen, weil er Objecte und Zeichnungen benutzte, welche wenig oder gar keine horizontale Conturen enthielten, und weil grosse Uebung im Doppelsehen disparater Bilder ein wesentliches Hinderniss für das Gelingen der Versuche bildet. Später hat er mit Hülfe horizontaler Conturen ebenfalls kleine Rollungen erhalten [1] und dieselben als einen weiteren Beweis für seine Ansicht hingestellt, dass die grösstmögliche Correspondenz der Netzhautbilder ein wesentliches Leitmotiv für die Augenbewegungen ist.

Der grossen Langsamkeit, mit welcher die beschriebene Rollung erfolgt, entspricht die weitere Thatsache, dass die einmal erfolgte Rollung eine gewisse Dauerhaftigkeit besitzt. Blickt man z. B., nachdem die Augen sich einige Zeit mit der haploskopischen Betrachtung zweier gegeneinander verdrehter Zeichnungen beschäftigt haben, nach einer entfernten querhorizontalen Linie, so sieht man dieselbe in Doppelbildern, die sich im Blickpunkte unter sehr spitzem Winkel durchschneiden, und erst allmählich gehen die Augen durch Gegenrollung in ihre normale Stellung zurück, so dass querhorizontale Linien sich wieder correspondirend abbilden.

Dieses Verhalten ist von grosser Bedeutung für das gewöhnliche Sehen. Sind nämlich die Augen zu den Aussendingen so gestellt, dass viele Punkte und quere Conturen derselben schräg disparate Netzhautbilder geben, weil die mittlen Querschnitte nicht in der Blickebene liegen, so kann diesem Uebelstande durch kleine Rollungen der Augen abgeholfen werden, welche, einmal eingetreten, fortbestehen und wahrscheinlich habituell werden, wenn die Bedingungen ihres Entstehens fortdauern oder häufig wiederkehren.[2]

Ganz ähnlich wie die beschriebenen Rollungen verhält sich betreffs der Langsamkeit und Schwierigkeit ihres Eintretens und betreffs der Nachdauer eine zweite, schon länger bekannte Art von Bewegungen, welche ebenfalls im Interesse der Correspondenz der Bilder ausgeführt werden. Wenn man nämlich von zwei zunächst correspondirenden Bildern, welche bei Parallelstellung der Gesichtslinien haploskopisch vereinigt wurden, das eine sehr langsam und absatzweise ein wenig nach oben oder unten schiebt, so folgt das entsprechende Auge dieser Verschiebung, so dass nun die Gesichtslinien

1 Hering, Arch. f. Ophthalmologie XV. (1) S. 1. 1869.
2 Derselbe, ebenda S. 7.

nicht mehr in einer Ebene liegen. Solche einseitige Hebungen und Senkungen des Auges hat zuerst DONDERS[1] mit Hülfe eines schwachen Prismas erzielt. Hält man ein solches zunächst mit verticaler Kante vor ein Auge, so dass der brechende Winkel nach innen gerichtet ist, stellt durch Erhöhung der Convergenz das Einfachsehen wieder her und dreht dann das Prisma um die Richtung der Gesichtslinien ganz allmählich in die horizontale Lage, so hebt oder senkt sich ebenfalls das Auge im Interesse des Einfachsehens. HELMHOLTZ[1] konnte auf diese Weise Differenzen in der Hebung oder Senkung beider Gesichtslinien um 6° ohne Schwierigkeit herbeiführen, HERING[2] nach längerer Uebung Prismen von 8° überwinden. Entfernt man das Prisma, so bleibt das Auge relativ zum andern einige Zeit in seiner abnormen Stellung und man sieht anfangs Alles in übereinander liegenden Doppelbildern.

In ganz analoger Weise lassen sich mit Hülfe haploskopisch vereinigter Zeichnungen, deren gegenseitigen Abstand man allmählich vergrössert (H. MEYER[2]), oder durch vertical gestellte Prismen (DONDERS[1]) Divergenzen der Gesichtslinien im Interesse des Einfachsehens herbeiführen, welche von MEYER und HERING bis auf 10° gebracht werden konnten. Hält man nach ROLLET[3] vor die Augen je eine dicke planparallele Glasplatte vertical und so zur Gesichtslinie geneigt, dass ihr medianwärts gelegener Rand dem Gesichte näher ist als der laterale, und blickt durch die Platten nach fernen Objecten, so sieht man dieselben einfach, obwohl hierzu wegen der durch die Platten bedingten Verschiebung der Lichtstrahlen eine Divergenz der Gesichtslinien erforderlich ist. Bringt man bei parallelen Gesichtslinien in jede derselben einen starken verticalen Faden oder Draht in einer Entfernung, welche ein deutliches Sehen derselben gestattet, so werden die Bilder derselben haploskopisch verschmolzen. Erhöht man nun allmählich den gegenseitigen Abstand der Drähte oder neigt ihr oberes Ende nach aussen, so gehen die Gesichtslinien zur Divergenz über und die Verschmelzung bleibt bis zu einer gewissen Grenze erhalten.[4]

V. Rollungen der Augen bei seitlicher Neigung des Kopfes.

Wenn man den Kopf nach der Schulter neigt, so erleiden beide Augen eine der Drehung des Kopfes entgegengerichtete Rollung um

1 DONDERS, Holländ. Beitr. I. S. 382. 1846.
2 H. MEYER, Annal. d. Phys. u. Chem. LXXXV. S. 208. 1852.
3 ROLLET, Sitzgsber. d. Wiener Acad. XLII. 2. Abth. S. 488. 1860.
4 BECKER und ROLLET, ebenda XLIII. 2. Abth. S. 667. 1861.

die Gesichtslinie. Gesetzten Falls, man fixirt einen gradaus in der Ferne gelegenen Punkt und dreht den Kopf um eine von vorn nach hinten gehende Horizontalaxe nach rechts, d. i. positiv, so erfährt jedes Auge eine negative Rollung, derart also, dass die rechte Hälfte des mittlen Querschnittes gehoben wird. Bringt man den Kopf in die aufrechte Lage zurück, so werden auch die Augen wieder in die alte Stellung gerollt. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man nach Donders' Vorschlag am oben (S. 473) beschriebenen Visirzeichen von Helmholtz statt des kurzen Querstreifens einen längeren und breiteren grauen Pappstreifen anbringt und auf denselben ein schmales rothes Band, das von rechts nach links läuft. Jedem Auge gerade gegenüber befindet sich auf dem Bande eine Marke zum Fixiren; liegen die Gesichtslinien parallel, so verschmelzen beide Marken haploskopisch. Fixirt man nun einige Zeit die haploskopische Marke und neigt dann ohne Veränderung der Fixation den Kopf stark zur Seite, so sieht man ein gegen das Band verdrehtes, dasselbe im Fixationspunkte durchschneidendes Nachbild. Man kann auch einen gleichfarbig grauen Papierstreifen mit querer Mittellinie benützen, auf welchem die beiden Fixationspunkte markirt sind. Auf den Pappstreifen legt man dann einen gleichfalls ganz ebenen, zur oberen Hälfte rothen, zur unteren grünen Cartonstreifen mit zwei Fixationspunkten auf der Grenzlinie der Farben, und zwar so, dass diese Punkte genau auf die Fixationspunkte des grauen Pappstreifens zu liegen kommen. Entfernt man nach Erzeugung des Nachbildes den farbigen Carton, so deckt die Mittellinie des Nachbildes die Mittellinie des Pappstreifens; neigt man aber den Kopf z. B. nach rechts, d. i. positiv, so verdreht es sich gegen diese Linie im negativen Sinne.

Durch analoge Versuche lässt sich zeigen, dass, wie Woinow fand, die Rollungen auch bei Convergenzstellung ganz dieselben sind, wie bei Parallelstellung. Am besten senkt man dabei, indem man die quere Mittellinie des Pappstreifens tiefer legt, die Blickebene so weit, dass trotz der Convergenz die mittlen Querschnitte in die Blickebene zu liegen kommen, weil man sonst die quere Linie in sich durchschneidenden Doppelbildern sieht.

Die Rollung ist in beiden Augen gleich stark. Man kann dies an den Nachbildern und nach einem Vorschlag von Donders auch auf folgende Weise beobachten:

An den vorderen Rand eines Brettchens, welches das von Helmholtz beschriebene Visirzeichen trägt, steckt man zwei verticale Drähte so, dass sie etwas weiter von der Mittelsäule abstehen, als

lie beiden Spitzen des queren Papierstreifens. Dann betrachtet man
. B. in Primärstellung ein fernes Object, wobei die beiden Spitzen
ler Trugbilder des Querstreifens sich berühren, falls das Visirzeichen
ichtig eingestellt ist, und die beiden Drähte ungleichseitige Doppel-
ilder geben. Das linke Trugbild des rechten und das rechte des
inken Doppelbildes erscheinen dabei nahe der Medianebene. Man
ichte die Drähte so, dass diese beiden Trugbilder genau parallel
ind: neigt man dann den Kopf nach rechts oder links zur Schulter,
o bleiben die Trugbilder parallel. Beweis, dass die Rollung in
eiden Augen gleich stark ist.

Man hat, wie Breuer fand, eine verhältnissmässig starke vorüber-
ehende Rollung, welche die erwähnte Bewegung des Kopfes beglei-
et, zu unterscheiden von der bleibenden Rollabweichung, welche
ortbesteht, wenn man den Kopf dauernd geneigt hält. Die erstere
eht schon nach 1—2 Secunden in die bleibende Rollabweichung
urück. Die Grösse der vorübergehenden Rollung fand Mulder für
erschieden grosse Bewegungen des Kopfes ungefähr gleich, wenn
ur die Schnelligkeit der Bewegung dieselbe war. Wenn man mit
ler oben beschriebenen Vorrichtung experimentirt und bei Conver-
enzstellung durch den binocularen, bei Parallelstellungen durch einen
ler beiden unocularen Fixationspunkte einen Faden spannt, der die
uere Mittellinie des farbigen Cartons unter einem Winkel von
5—20° durchschneidet, so kann man bei rascher Seitwärtsneigung

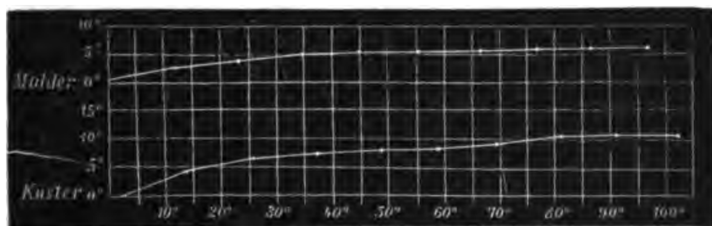


Fig. 50.

des Kopfes beobachten, ob das Nachbild der Farbengrenzlinie sich so weit dreht, dass es mit dem Faden zusammenfällt. Durch passende Verstellung des Fadens lässt sich dies erreichen, wenn es nicht zufällig gleich anfangs der Fall war. Mulder beobachtete auf diese Weise Rollung bis zu 20°.

Ueber die bleibende Rollabweichung haben Mulder und Küster zahlreiche Messungen angestellt. Die Curven in Fig. 50 veranschaulichen das Verhältniss zwischen dem Winkel der Kopfneigung und demjenigen der bleibenden Rollabweichung. Die Länge der Abscissen

stellt die Kopfneigungen, die Länge der Ordinaten die entsprechenden Rollabweichungen nach gleichem Maassstabe vor. Man sieht, dass die Abweichung anfangs rascher, dann langsamer mit der Kopfneigung wächst, und über 50° Kopfneigung hinaus nur noch äusserst wenig zunimmt.

Eine Abweichung des Kopfes in Folge von Drehung um seine Verticalaxe nach rechts oder links bis 20°, oder eine Neigung desselben nach vorn oder hinten hatte keinen merklichen Einfluss auf die Grösse der Rollung.

Die bleibende Abweichung hängt, wie Nagel zeigte, lediglich von der Neigung des Kopfes ab, gleichviel, wie die letztere herbeigeführt wurde, ob man nur den Kopf oder zugleich den Oberkörper geneigt hat. Auch ist es gleichgültig, ob die Neigung des Kopfes activ oder passiv herbeigeführt wurde; man kann sich, statt den Kopf selbst zu neigen, denselben von einem Andern zwischen die Hände nehmen und neigen lassen. Auch wenn man auf der Seite liegt, zeigt sich, wie Nagel fand, die Abweichung.

Die Rollabweichung ist eine dauernde, wenn der Kopf in der zur Verticalebene des Raumes geneigten Lage verharrt. Um dies zu zeigen, erzeugte Mulder ein Nachbild, nachdem er bereits 15 Minuten lang den Kopf geneigt gehalten hatte, und richtete sich dann auf. Es ergab sich, dass in diesen 15 Minuten die Rollabweichung sich nicht geändert hatte. Ferner legte er sich durch 45 Minuten horizontal auf die Seite, erzeugte das Nachbild und stand auf. Die nun bleibende Abweichung des Nachbildes betrug 5°2, während er bei 90° Neigung des Kopfes 6° erhalten hatte. Küster erhielt bei demselben Versuche 8°5 Abweichung nach dem Aufstehen statt 10°6, die er sonst bei 90° Neigung des Kopfes gefunden hatte. Dass es sich hierbei wirklich um das Zurückgehen einer bestandenen und nicht um eine durch das Aufstehen bewirkte neue Rollung handelt, wurde daraus geschlossen, dass sich durch längere Zeit die Lage des Nachbildes nicht änderte.

Bringt man, wie Donders that, vor das eine Auge ein Spiegelchen auf einem mit den Zähnen gehaltenen Brettchen, so kann man sein eigenes Auge während der Rollung beobachten, ohne dass sich die Stellung der Gesichtslinie zum Spiegel ändert, wenn man den Kopf neigt. Ist man nicht sehr kurzsichtig, so nimmt man statt des Planspiegels eine auf der einen Seite versilberte Sammellinse. Donders „neigte den Kopf zur Seite, bis eine Arteria ciliaris gerade hinter dem Augenlide verschwand, und stillhaltend sah er sie nicht mehr als 0,5 mm. zurücktreten; wenn er nun aus der geneigten Stel-

lung wieder in die senkrechte überging, kam das Gefäss weit über dem Augenlide zum Vorschein um wieder 0,5 bis 1 mm. zu sinken".

Ueber die tieferen Ursachen dieser Rollungen und ihre Bedeutung für die räumliche Wahrnehmung bestehen sehr verschiedene Ansichten. NAGEL bringt sie in Beziehung zur Erhaltung des Gleichgewichts, nach BREUER und MACH [1] werden sie von den Nerven der Bogengänge des Labyrinths ausgelöst. DONDERS erklärt sie dagegen für eine mit der Neigung des Kopfes associirte Bewegung, „die für die gewöhnliche Bewegung des Kopfes ein genügendes Hilfsmittel zur Compensation ist".[2]

Die Rollung der Augen bei Neigung des Kopfes wurde, wie NAGEL angiebt, zuerst von JOHN HUNTER erwähnt. Später erörterte sie ausführlich HUECK [3], doch waren seine Beobachtungen keine messenden und er meinte, dass durch die Rollung bei nicht zu starker Neigung des Kopfes die letztere durch die Rollung vollständig compensirt werde. Weil aber das Nachbild eines verticalen Bandes bei jeder Seitwärtsneigung des Kopfes sich auch auf der Wand neigt, hielten RUETE und DONDERS HUECK's Angaben für unrichtig, bis JAVAL [4] die Rollungen mit Hülfe seines Astigmatismus beobachtete. Sie wurden dann von NAGEL [5] in derselben Weise, von SKREBITZKI [6] mit Nachbildern genauer untersucht. Weitere Mittheilungen machten DONDERS [7], WOINOW [8], BREUER [9] und MULDER [10]. Letzterer benutzte folgende von DONDERS [11] angegebene Methode: „Das für die Versuche construirte Instrument besteht aus einem Kopfhalter, welcher sich um eine horizontale, zur Grundlinie senkrechte Axe dreht (Seitwärtsneigung also gegen die Schulter), und bei jeder Einstellung durch den Beobachter schnell und leicht zu fixiren ist. Wenn der Kopf darin festgehalten wird, und zwar genau in der Primärstellung, betrachtet das Auge ungefähr 20 Secunden lang eine von entfernten Gasflämmchen gebildete Lichtlinie, die sich im Querdurchmesser einer grossen Scheibe befindet, löscht die Flämmchen durch eine kleine Handbewegung bis auf ein Minimum aus, dreht nun den Kopf im Kopfhalter und stellt diesen durch eine zweite Handbewegung wieder fest, gerade während das Nachbild mit einem in einem Diameter der Scheibe von bekannter Richtung

---

1 MACH, Grundlinien der Lehre von d. Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.
2 Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 114. 1875.
3 HUECK, Die Axendrehung des Auges. Dorpat 1838.
4 JAVAL, Traité théoretique et pratique des maladies des yeux, par L. WECKER. II. p. 815. Paris 1866. (citirt nach MULDER.)
5 NAGEL, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (1) S. 237. 1871.
6 SKREBITZKI, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (1) S. 107. 1871.
7 DONDERS, Klin. Monatsblätter S. 389. 1871. (citirt nach MULDER.)
8 WOINOW, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (2) S. 233 und Klin. Monatsblätter S. 387. 1871.
9 BREUER, Ueber die Function der Bogengänge des Ohrlabyrinths. Med. Jahrb. 1. Heft. 1874 und 1. Heft 1875.
10 MULDER, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 68. 1875.
11 DONDERS, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 409. 1876.

ausgespannten Faden zusammenfällt, und der Unterschied zwischen der Neigung dieses Durchmessers und der des Kopfes, die sich beide genau bestimmen lassen, ist die Rollbewegung.“

Helmholtz hatte, ohne noch die hier erörterten Rollungen zu kennen, den oben beschriebenen Nachbildversuch zum Beweise des Listing'schen Gesetzes auch so angestellt, dass er zur Untersuchung der schrägen Bahnen der Gesichtslinie nicht den Nachbild erzeugenden Streifen auf der Wand, sondern den Kopf neigte, wobei er die Primärstellung der Gesichtslinie an dem Visirzeichen controlirte. Er fand auch so, dass die Gesichtslinie die primären Bahnebenen ohne Rollung des Auges durchmass. Hieraus würde sich also ergeben, dass die Primärstellung der Gesichtslinie und das Bewegungsgesetz der Augen sich nicht ändert, auch wenn die Augen durch die beschriebenen Rollungen eine andere Lage in der Orbita haben und sämmtliche Muskeln in etwas anderer Weise am Augapfel angreifen, falls nicht etwa die verhältnissmässig weiten Fehlergrenzen der Methode den Versuch getrübt haben.

VI. Die Augenmuskeln.

So gut uns gegenwärtig die Augenbewegungen bekannt sind, so wenig wissen wir noch über den Antheil, den die einzelnen Augenmuskeln an jeder bestimmten Bewegung haben.

Die sechs Augenmuskeln sind so angeordnet, dass je zwei sich beiläufig als Antagonisten verhalten, insofern sie den Augapfel ungefähr um dieselbe Axe, jedoch in entgegengesetzter Richtung zu drehen streben. Innerhalb welcher Grenzen sich bei den verschiedenen Stellungen des Auges die Abweichungen jedes Muskelpaares vom Antagonismus bewegen, ist nicht bekannt. Indessen werden diese Abweichungen sicher nie so gross sein, dass sich nicht auf Grund des annähernd antagonistischen Verhaltens je zweier Muskeln annehmen liesse, dass jede bestimmte Drehung des Augapfels nur auf eine einzige Weise, d. h. immer wieder von denselben Muskeln und mit demselben Verhältniss der Anstrengung der einzelnen Muskeln erzeugt wird. Wenn es gilt, das Auge aus irgend einer Stellung um irgend welche Axe herauszudrehen, so steht bei strengem Antagonismus jedes Muskelpaares die Wahl der zur Drehung erforderlichen Muskeln, schon theoretisch genommen, nicht frei, sondern es giebt nur eine einzige Art der Innervation und der entsprechenden Muskelaction, durch welche die Drehung herbeigeführt werden kann. Praktisch genommen gilt dieser Satz auch dann, wenn der Antago-

nismus der einzelnen Muskelpaare kein genauer ist. Ein Vicariren verschiedener Muskeln untereinander ist also bei strengem Antagonismus überhaupt nicht denkbar; bei nur angenähertem Antagonismus aber deshalb thatsächlich ausgeschlossen, weil die vicarirenden Muskeln, welche das nöthige Drehungsmoment aufbringen könnten, dies nur mit einem ganz unverhältnissmässig grossen Kraftaufwande vermöchten.

Um den Antheil bestimmen zu können, welchen die einzelnen Muskeln an der Ausführung einer bestimmten Drehung haben, sucht man zuvörderst für jeden Muskel die Resultirende aus dem Zuge seiner sämmtlichen Einzelfasern zu finden. Zu diesem Zwecke denkt man sich durch die geometrischen Mittelpunkte der Muskelursprünge und Ansätze und durch den Drehpunkt eine Ebene gelegt und auf derselben im Drehpunkt eine Senkrechte errichtet: diese betrachtet man als die Axe des Drehbestrebens des Muskels, und um zugleich die Richtung der angestrebten Drehung zu bestimmen, bezeichnet man die Axenhälfte derjenigen Seite, von welcher aus gesehen die Drehung im Sinne der Bewegung eines Uhrzeigers erfolgen würde, als die Halbaxe der Drehung. Eine der Kraft des Drehbestrebens proportionale, aus dem Drehpunkte auf diese Halbaxe aufgetragene Strecke ist das vom Muskel erzeugte Drehungsmoment.

Die Bestimmung des Mittelpunktes der fächerartig ausgebreiteten Muskelansätze unterliegt einer gewissen Willkür; einen genauen Drehpunkt giebt es nicht; die angenommene Resultirende setzt voraus, dass die Muskelfasern ganz symmetrisch zu derselben vertheilt sind; der Mittelpunkt des interaxialen Raumes liegt nicht genau im Krümmungsmittelpunkte einer sphärischen Hinterfläche des Augapfels. Aus allen diesen Gründen versteht sich, warum auch unter der Annahme, dass sämmtliche Fasern eines Muskels immer gleichzeitig und gleich stark innervirt werden, eine genaue Bestimmung der Halbaxen des Drehbestrebens nicht möglich ist.

Die Axe, um welche bei einer gegebenen Augenstellung ein Muskel das Auge zu drehen strebt, ist nicht nothwendig auch die unveränderliche Axe der wirklichen Drehung, welche der Muskel erzeugt, wenn er sich allein contrahirt, und zwar auch dann nicht, wenn man annehmen darf, dass durch die, während der Bewegung erfolgende Verschiebung des Muskelansatzes relativ zum Muskelursprung keine Lagenänderung des Drehungsmomentes bewirkt wird. Wie der Weg eines Schiffes nicht blos von der Richtung der treibenden Kraft abhängt, sondern auch von der Richtung der Widerstände und insbesondere der Stellung des Steuers, so hängt auch die Drehung, welche ein Muskel bewirkt, nicht allein ab von der Lage und Grösse des

von ihm erzeugten Drehungsmomentes, sondern zugleich von der Lage und Grösse des, aus dem gleichzeitigen Zuge aller übrigen Muskeln und den sonstigen Anheftungen des Augapfels an der Orbita resultirenden Drehungsmomentes. Nur insoweit man annehmen darf, dass das aus den Widerständen der Drehung resultirende Moment immer in derselben Axe liegt, wie das vom Muskel erzeugte, darf man die Axe, um welche ein Muskel das Auge aus einer bestimmten Anfangslage herauszudrehen strebt, auch als die Axe der wirklich erfolgenden Drehung ansehen.

Betreffs der Annahme, dass die Lage des Drehungsmomentes, welches ein bestimmter Muskel erzeugt, sich bei den verschiedenen Stellungen des Auges nicht wesentlich ändert, hat Helmholtz[1] auf die Bedeutung des breiten, fächerförmigen Ansatzes der Muskeln am Bulbus hingewiesen. „Nehmen wir“, sagt er, „als Beispiel den rectus super. und infer., so spannen sich, wenn das Auge nach innen gedreht wird, bei der Verkürzung des Muskels vorwiegend die Fasern der Sehne, welche nach dem äussern Rande der Hornhaut hin gerichtet sind, weil diese am meisten verlängert sind.“ „Wenn sich das Auge nach aussen dreht, wirken dagegen hauptsächlich die innern Stränge beider Sehnen. So bleibt die Richtung des Muskelzuges dieselbe, trotz der veränderten Stellung des Auges.“

Die Widerstände der Drehung sind, sofern es sich nur um das für gewöhnlich benutzte kleine Gebiet der Lagenänderungen handelt, im Wesentlichen in den nichtactiven Muskeln und hauptsächlich in den Antagonisten der jeweiligen activen Muskeln zu suchen, daher das aus sämmtlichen Widerständen resultirende Drehungsmoment seine Lage während der Drehung auch nicht erheblich ändern wird.

Fick[2], Ruete[3] und insbesondere Volkmann[4] haben auf Grund anatomischer Untersuchung die Lage der Axen zu bestimmen gesucht, um welche jeder Muskel bei einer bestimmten Mittelstellung das Auge zu drehen strebt. Diese Mittelstellung war sicher bei den verschiedenen Augen verschieden, dürfte aber nicht sehr erheblich von der Primärstellung differirt haben. Das allgemeine Ergebniss dieser Untersuchungen ist, dass die Axe des äussern und innern Geraden beiläufig senkrecht zur primären Blickebene, die Axen der übrigen Muskeln dieser Ebene mehr oder weniger nahe liegen, und zwar die gemeinschaftliche Axe des obern und untern Geraden unter einem Winkel von beiläufig 66°—71°, die gemeinschaftliche Axe

1 Helmholtz, Physiol. Optik. S. 471.
2 Fick, Ztschr. f. rat. Med. (3) IV. S. 101. 1853.
3 Ruete, Ein neues Ophthalmotrop. Leipzig 1857.
4 A. W. Volkmann, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 6. Febr. 1869. S. 28.

der beiden Schiefen unter einem Winkel von beiläufig 36°—38° zur Gesichtslinie, wie dies Fig. 51 schematisch darstellt. Dieselbe ist der Horizontalschnitt des linken Auges von oben gesehen; *ou* ist die Verbindungslinie der beiden Drehpunkte (Grundlinie), die unterbrochene Linie die Gesichtslinie; die vier Halbaxen des Drehbestrebens des Rectus superior und inferior, sowie der beiden Obliqui sind mit den entsprechenden Anfangsbuchstaben bezeichnet. Eine durch den Drehpunkt *m* gelegte Senkrechte würde mit ihrer obern Hälfte die dem Rectus internus, mit ihrer untern Hälfte die dem Rectus externus zugehörige Halbaxe darstellen.

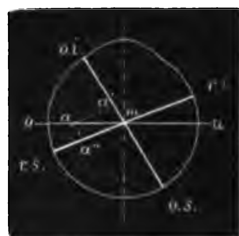


Fig. 51.

Fig. 52 versinnlicht annähernd die Bahnen, welche die Gesichtslinie des linken Auges auf einer zur Primärstellung senkrechten und

Fig. 52.

um die Strecke *dd* vom Drehpunkte abstehenden Ebene beschreiben müsste, wenn das Auge um eine der genannten sechs Halbaxen gedreht würde. Der Figur ist die Anahme Ruete's zu Grunde gelegt,

nach welcher die Axe des obern und untern Geraden um 71°, die der Schiefen um 38° von der Gesichtslinie abweicht, wobei bemerkt werden muss, dass die Angaben Volkmann's hiervon nicht unwesentlich verschieden sind (s. u.). Am Ende jeder Blickbahn ist durch einen Strich die scheinbare Lage eines Nachbildes angegeben, welches das Auge in der Primärstellung von einem fixirten horizontalen Streifen aufgenommen hat. Die Länge jeder Bahn entspricht einer Drehung des Auges um 50°; die Zahlen gében die Grösse des jeweiligen Winkels der erfolgten Drehung an. Die krummen Bahnen sind hyperbolisch.

Nach Listing's Gesetz liegt die primäre Axenebene senkrecht zur Gesichtslinie. In diese Ebene fällt, wie man sieht, nur die Halbaxe des vom äussern oder innern Geraden erzeugten Drehbestrebens. Ein in der Linie *mo* Fig. 51 liegendes und also auf verticale Hebung der Gesichtslinie gerichtetes Drehungsmoment kann nur durch das Zusammenwirken des obern Geraden und des untern Schiefen erzeugt werden, sofern man annehmen darf, dass deren Halbaxen in der primären Blickebene liegen. Soll z. B. das Drehungsmoment *ma* (Fig. 51) entstehen, so muss der obere Gerade das Moment ma'', der untre Schiefe das Moment ma' erzeugen, aus welchen beiden dann das Moment *ma* resultirt. Analog kann ein auf verticale Senkung der Gesichtslinie gerichtetes Moment nur durch eine bestimmte Art des Zusammenwirkens des untern Geraden mit dem obern Schiefen entstehen. Soll die Gesichtslinie in schräger Bahn z. B. nach oben und aussen bewegt werden, so muss sich die gemeinsame Thätigkeit des obern Geraden und untern Schiefen verbinden mit der Thätigkeit des äussern Geraden, und es ist bemerkenswerth, dass das Verhältniss der von den ersteren beiden Muskeln erzeugten Momente unter sich hierbei ganz dasselbe sein muss, wie bei gerader Hebung der Gesichtslinie. Analoges gilt von allen übrigen schrägen Bewegungen.

Hering[1] hat ein hypothetisches Gesetz aufgestellt, nach welchem sich der Antheil, den die einzelnen Muskeln an den verschiedenen Bewegungen haben, leicht übersehen lassen würde. Er meint, dass der Blickpunkt innerhalb des engeren Blickfeldes durch dieselbe Innervation und Muskelaction, durch welche er aus der Primärstellung in verticaler Bahn gehoben oder gesenkt wird, auch aus jeder Secundärstellung vertical gehoben oder gesenkt werden kann, und dass der analoge Satz für jede Bewegung des Blickpunktes in horizontaler und der Frontalebene paralleler Richtung gilt. Daraus würde sich weiter ergeben, dass allen unter sich parallelen Blickbahnen auf einem, der Frontalebene parallelen Gesichtsfelde eine und dieselbe Innervation und Muskelaction entspricht.

1 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen. § 9.

Alle Abweichungen von diesem Gesetze im weiteren Blickfelde sollen sich nach HERING durch entsprechende Störungen der Localisirung des Kernpunktes verrathen. Er stützt das Gesetz vorwiegend auf theoretische Gründe, welche sich aus den im nächsten Capitel gemachten Erörterungen ergeben.

Positive Rollungen bei feststehender Gesichtslinie können nach dem auf Seite 515 gegebenen Schema linkerseits nur durch gleichzeitige Action des obern Schiefen und obern Geraden, negative nur durch Zusammenwirken des untern Schiefen und untern Geraden eingeleitet werden.

Ob die Augenmuskeln beim Sehen unter einer tonischen Innervation stehen, so dass es keine Stellung des Auges gibt, bei der nicht sämmtliche Muskeln, wenn auch zum Theil nur schwach, in Thätigkeit sind, ist nicht entschieden[1]).

Die sorgfältigsten Bestimmungen des Ursprunges und Ansatzes der Augenmuskeln verdanken wir VOLKMANN, welcher 30 Leichen darauf untersuchte. Mit RUETE nimmt VOLKMANN an, dass die Augen des Todten sich in der Primärstellung befinden. Zur Begründung dieser Annahme führt er an, dass die Pupillendistanz in diesen 30 Fällen im Minimum 55 mm., im Maximum 70 mm., im Mittel 63,8 mm. betrug, während er sie bei 30 lebenden Erwachsenen beim Sehen in die Ferne im Minimum 58 mm., im Maximum 70 mm., im Mittel 63,1 mm. gross fand. Leichen wie Lebende waren überwiegend männlichen Geschlechts. Da nach PANUM[2] die Abstände der Drehpunkte beider Augen bei Erwachsenen um mehr als 20 mm. differiren können, so erscheint VOLKMANN's Kriterium für die durchschnittliche Primärlage der Augen bei Leichen unsicher. Ueberdies wird durch die Pupillendistanz die Lage der Blickebene nicht controlirt.

Durch den Drehpunkt denkt sich VOLKMANN die Axen eines rechtwinkligen Coordinatensystems gelegt; die Verbindungslinie der Drehpunkte ist die x-Axe, ihre rechte Hälfte positiv; die Gesichtslinie d. i. die der Medianebene parallele Horizontale ist die y-Axe, deren positive Hälfte nach hinten liegt. Die Lage dieser Axe relativ zum Kopfe ist natürlich abhängig von der Wahl der aufrechten Kopfstellung; die auf den genannten beiden Axen senkrecht stehende z-Axe ist zur oberen Hälfte positiv. Bezogen auf diese Axen fand VOLKMANN folgende Werthe:

Muskeln des rechten Auges	Ursprünge			Ansätze		
	x	y	z	x	y	z
rectus superior	— 16	31,76	3,6	0,0	— 7,63	10,48
rectus inferior	— 16	31,76	— 2,4	0,0	— 8,02	— 10,24
rectus externus	— 13	34,0	, 0,6	10,08	— 6,50	0,0
rectus internus	— 17	3,00	0,6	— 9 65	— 8,84	0,0
obliquus superior	— 15,27	— 8,24	12,25	2,90	4,41	11,05
obliquus inferior	— 11,10	— 11,34	— 15,46	— 8,71	7,18	0,0

1 vergl. HERING, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXIX. S. 137. 1879.
2 PANUM, Nordiskt med. Arkiv VII. No. 9. 1875 (citirt nach dem Jahresber. für Anat. u. Physiol. v. Hofmann u. Schwalbe).

Hieraus ergibt sich u. A., dass die Halbaxen des äussern und innern Geraden ziemlich genau senkrecht zur primären Blickebene, die der vier übrigen jedoch nicht in derselben liegen, und zwar weichen sie um folgende Winkel von der Blickebene ab:

		im rechten Auge	im linken Auge
Die Halbaxe des rect. super.	um 17°5′	nach unten	nach oben
„ „ „ rect. infer.	„ 18°34′	„ „	„ „
„ „ „ obliq. infer.	„ 6°14′	„ „	„ „
„ „ „ obliq. super.	„ 10°45′	„ oben	„ unten

Nur der obere und innere Gerade sind also ziemlich genaue Antagonisten.

Es folgt aus Volkmann's Angaben, dass zwar ein nach innen oder aussen gerichtetes Drehungsmoment durch alleinige Verkürzung des innern oder äussern Geraden erzeugt werden könnte, dass aber zur Herstellung eines gerade nach oben gerichteten Moments sich der Anspannung des obern Geraden und untern Schiefen noch eine kleine Anspannung des äussern Geraden zugesellen müsste, und dass dieser Muskel auch an der Erzeugung eines nach unten gerichteten Moments, doch hier in viel schwächerem Maasse sich betheiligen müsste. Ebenso würde ein im linken Auge auf negative, im rechten auf positive Rollung um die feststehende Gesichtslinie gerichtetes Moment nur unter wesentlicher Mitbetheiligung des äussern Geraden zu Stande kommen, während für die entgegengesetzte Rollung die gemeinsame Action des obern Schiefen und obern Geraden nahezu genügen würde.

Volkmann hat auch Bestimmungen der Länge, des Gewichts, des mittlen Querschnitts und des relativen Gewichts der Augenmuskeln gemacht und dafür folgende Mittelwerthe gefunden:

	rectus superior	rectus internus	rectus inferior	rectus externus	obliquus superior	obliquus inferior
Gewicht	0,514	0,747	0,671	0,715	0,285	0,288 grm.
Länge	41,8	40,8	40,0	40,6	32,2	34,5 mm.
Querschnitt	11,34	17,39	15,85	16,73	8,36	7,89 □ mm.
relative Schwere	1	1,45	1,30	1,39	0,55	0,57

Endlich hat Volkmann auch die Länge der auf den Augapfel aufgewickelten Strecke jedes Muskels zu bestimmen versucht, von deren Grösse das Maximum der Drehung abhängt, welche der Muskel, theoretisch genommen, erzeugen kann. Er setzte dabei einen

kugligen Augapfel und einen im Centrum desselben liegenden Drehpunkt voraus. „In nachstehender Tabelle bezeichnet λ die Länge der aufgewickelten Strecke des Muskels, welche hier zugleich das Maass seiner grössten Verkürzung ist; Λ ist die berechnete Länge des ganzen Muskels bei der Primärstellung, L dieselbe Länge nach Aussage der Messung mit Ausschluss der Sehne und $\frac{\lambda}{L}$ das Verhältniss der maximalen Verkürzung zur Länge des Muskels in der Primärstellung."

Muskeln	λ	Λ	L	$\frac{\lambda}{L}$
rectus superior	8,92 mm.	43,72 mm.	41,8 mm.	0,21
rectus inferior	9,83 „	44,50 „	40,0 „	0,24
rectus externus	13,25 „	48,86 „	40,6 „	0,32
rectus internus	6,33 „	39,82 „	40,8 „	0,15
obliquus superior	5,23 „	—	32,2 „	0,16
obliquus inferior	16,74 „	34,43 „	34,5 „	0,48

„Der Werth Λ für den M. obliquus superior ist absichtlich nicht mit aufgenommen, weil er sich nur auf die Sehne des Muskels bezieht."

ELFTES CAPITEL.

Die Association der Augenbewegungen.

Die Stellungen und Bewegungen des einzelnen Auges sind nicht genügend verständlich, wenn man nicht auch seine Beziehungen zum anderen Auge berücksichtigt. So sahen wir schon S. 496 dass bei gleicher Stellung der Gesichtslinie relativ zum Kopfe die Lage der Netzhaut mit abhängig ist von der jeweiligen Stellung des anderen Auges.

Die beiden Augen sind bei ihren Bewegungen derart mit einander verknüpft, dass das eine nicht unabhängig vom anderen bewegt wird, vielmehr auf einen und denselben Willensantrieb die Musculatur beider Augen gleichzeitig reagirt. Daher sind wir im Allgemeinen nicht im Stande, ein Auge ohne das andere zu heben oder zu senken, sondern beide Augen heben und senken sich gleichzeitig und gleich

stark. Ebensowenig können wir zum Zwecke der Rechts- oder Linkswendung die Muskeln eines Auges allein innerviren. Zwar ist es uns möglich, beide Augen gleichzeitig um verschiedene Winkel und mit verschiedenen Geschwindigkeiten nach links oder rechts, einwärts oder auswärts zu bewegen und sogar, während ein Auge feststeht, das andere auswärts oder einwärts zu drehen, was für eine gegenseitige Unabhängigkeit der Augen bei ihren Bewegungen zu sprechen scheint; doch hat Hering[1]) gezeigt, dass sich diese ungleichmässigen Bewegungen recht wohl mit der Annahme einer gleichmässigen Innervation in Einklang bringen lassen. Nach seiner Ansicht sind solche Bewegungen nicht etwa deshalb möglich, weil wir im Stande wären, gleichzeitig jedem Auge eine besondere Innervation zuzuwenden, sondern weil dabei jedes Auge von zwei Innervationen getroffen wird, deren eine auf eine Wendung beider Augen nach rechts oder links, deren andere auf eine Einwärts- oder Auswärtsdrehung beider Augen gerichtet ist. Indem diese beiden Innervationen des Doppelauges sich im einen Auge gegenseitig unterstützen, im anderen aber entgegenwirken, muss die wirklich eintretende Bewegung in beiden Augen nothwendig eine verschiedene sein.



Fig. 53.

Blicken z. B. beide Augen (Fig. 53) zunächst gerade aus in weite Ferne, wobei die Gesichtslinien $\lambda\, l$ und $\varrho\, r$ parallel liegen, und es zieht ein nach rechts und in grösserer Nähe erscheinendes Object a unsere Aufmerksamkeit auf sich, so haben wir erstens Veranlassung, das Doppelauge auf die dem Objecte entsprechende Nähe einzustellen, und demgemäss erfolgt eine Innervation beider Augen zur Convergenz, durch welche Innervation an und für sich, da sie beide Augen zu gleich starker Wendung nach innen antreibt, die anfangs parallelen Gesichtslinien auf den etwa gleich nahe wie a gelegenen Punkt α eingestellt werden würden, wie es die unterbrochenen Linien $\lambda\, l'$ und $\varrho\, r'$ darstellen. Ausserdem aber haben wir, da das Object a, welches wir deutlich sehen wollen, nach rechts erscheint, auch Veranlassung, das Doppelauge nach rechts zu wenden, und demgemäss erfolgt eine Innervation beider Augen zur Wendung nach rechts, durch welche Innervation an und für sich, da sie ebenfalls beiderseits gleich stark wirkt, beide Augen um gleiche Winkel nach rechts gewendet werden, und ihre Gesichtslinien zuletzt in die durch die unterbrochenen Linien $\lambda\, l''$ und $\varrho\, r''$ versinnlichte Stellung kommen würden. Beide Innervationen erfolgen nun aber gleichzeitig und es bekommt somit

1 Hering, Lehre vom binocul. Sehen. § 2.

die linke Gesichtslinie erstens einen Antrieb zur Einwärtswendung um den Winkel $l \lambda l'$ und zweitens einen Antrieb zur Rechtswendung um den Winkel $l \lambda l''$; infolge dieses doppelten Antriebes wird die linke Gesichtslinie um $\angle l \lambda l' + \angle l \lambda l'' = \angle l \lambda l'''$ nach rechts gedreht und also auf den Punkt a eingestellt. Die rechte Gesichtslinie bekommt erstens einen Antrieb zur Einwärtswendung um $\angle r \varrho r'$; und zweitens einen Antrieb zur Rechtswendung um $\angle r \varrho r''$; beide Antriebe wirken in entgegengesetzter Richtung. Demnach bewegt sich die Gesichtslinie in der Richtung des stärkeren Antriebes nach rechts, und zwar um $\angle r \varrho r'' - \angle r \varrho r' \doteq \angle r \varrho r'''$, wird also ebenfalls auf Punkt a eingestellt. So resultirt, trotzdem, dass beide Innervationen auf beide Augen gleich stark erfolgen, doch eine verschiedene Bewegung beider Augen, weil beide Innervationen im einen Auge sich einander unterstützen, im andern sich gegenseitig hemmen.

Nach dieser Auffassung werden also beide Augen, was ihre Bewegungen im Dienste des Gesichtssinnes betrifft, wie ein einfaches Organ gehandhabt. Dem bewegenden Willen gegenüber ist es gleichgiltig, dass dieses Organ in Wirklichkeit aus zwei gesonderten Gliedern besteht, weil er nicht nöthig hat, jedes der beiden Glieder für sich zu bewegen und zu lenken, vielmehr ein und derselbe Willensimpuls beide Augen gleichzeitig beherrscht, wie man ein Zwiegespann mit einfachen Zügeln leiten kann.

Man könnte daran denken, dass die antagonistischen Innervationen, welche unter den genannten Bedingungen auf ein und dasselbe Auge ausgeübt werden, nicht wirklich zu entsprechenden Spannungen der hierbei in Betracht kommenden antagonistischen Muskeln (rect. int. und ext.) führen, sondern sich schon im Centralorgane gegenseitig aufheben oder das Gleichgewicht halten. Hering [1] nimmt an, dass es wirklich zu entsprechend stärkerer Spannung der Antagonisten komme, was sich durch eine, bis jetzt nicht nachgewiesene Steigerung des interoculären Druckes verrathen müsste.

Die Richtung, in welcher der Blickpunkt in Beziehung zu unserem Kopfe gelegen ist, also die Blickrichtung des Doppelauges, wollen wir uns durch eine gerade Linie versinnlichen, welche den Blickpunkt mit einem etwa in der Mitte zwischen beiden Augen gelegenen Punkte verbindet, und diese Linie heisse die binoculare Blicklinie. Dieselbe ändert ihre Lage, sobald unser Blick nach rechts oder links oben oder unten wandert; aber der Blick kann auch entlang der unbewegten Blicklinie in grössere Nähe oder grössere Ferne gehen.

Wir können uns demnach auch hier wieder (vgl. S. 392) beide Augen durch ein einziges imaginäres Auge repräsentirt denken, wel-

1 Hering, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXIX. S. 149. 1879.

ches in der Mitte zwischen beiden wirklichen Augen gelegen ist. Wie ein solches Auge innervirt werden müsste um nach links, rechts, oben oder unten gewandt zu werden, oder sich für die grössere Nähe oder Ferne anzupassen, so werden die beiden wirklichen Augen innervirt, nur dass der letzteren Innervation beim imaginären Einauge lediglich eine innere Accommodation, bei den wirklichen Augen zugleich eine äussere Einstellung beider Gesichtslinien für die Nähe oder Ferne entspricht.



Fig. 54.

Der Blickpunkt liege in a (Fig. 54), und μm sei die Blicklinie des für die Nähe des Punktes a accommodirten imaginären Einauges, wobei der Accommodation desselben der Convergenzwinkel $\lambda a \varrho$ der wirklichen Gesichtslinien entspricht. Ein in b, also nach rechts und ferner als a gelegenes Object lenke jetzt die Aufmerksamkeit auf sich. Um es deutlich zu sehen, wäre für das imaginäre Einauge erstens eine Accommodation für grössere Ferne und zweitens eine Drehung nach rechts um den Winkel $m \mu b$ nöthig. Durch die Accommodation allein würde das imaginäre Auge etwa für den Punkt b' angepasst werden. Dieser Accommodation des imaginären Auges entspricht in der Wirklichkeit die Accommodation beider Augen und zugleich die Einstellung beider Gesichtslinien auf den Punkt b'. Der Drehung der Blicklinie des imaginären Auges um den Winkel $m \mu b$ entspricht an den wirklichen Augen eine Drehung beider Gesichtslinien um einen gleichgrossen Winkel; die bereits auf b' eingestellt gedachten Gesichtslinien würden sich also beziehungsweise um die Winkel $b' \lambda b$ und $b' \varrho b$ nach rechts drehen müssen. Diesen beiden Winkeln entspricht der gleich grosse Winkel $m \mu b$, um welchen sich die binoculare Blicklinie nach rechts wenden muss. Wie nun im imaginären Einauge die Accommodation und die Rechtswendung nicht nach einander, sondern mit einander vor sich gehen könnten, so erfolgen auch am wirklichen Doppelauge die analogen Veränderungen gleichzeitig. Das linke Auge bekommt dabei erstens einen Antrieb nach links, entsprechend der auf Minderung des Convergenzwinkels gerichteten Innervation des Doppelauges, und zweitens einen stärkeren Antrieb nach rechts, entsprechend der zum Zwecke der Rechtswendung des Doppelauges erfolgenden Innervation; seine Gesichtslinie geht deshalb im Sinne des stärkeren Antriebes um den Winkel $b' \lambda b - a \lambda b' = a \lambda b$ nach rechts. Die analogen Antriebe erhält auch das rechte Auge, bei welchem sie sich aber gegenseitig unterstützen, so dass daselbe um den Winkel $a \varrho b' + b' \varrho b = a \varrho b$ nach rechts gewandt wird.

Dass ein gewisser Zwang zu den beschriebenen Bewegungsassociationen vorhanden ist, geht aus folgenden Thatsachen hervor:

Wenn wir ein Auge verdecken, so folgt das verdeckte Auge den Bewegungen des andern, wovon man sich leicht an einer zweiten Person überzeugen kann, wenn man von der Seite her das nur lose verdeckte Auge beobachtet, oder auf das ganz geschlossene Auge die Fingerspitzen legt und so die Cornea tastet. Der Wille vermag nicht, diese für das Sehen ganz zwecklosen Mitbewegungen des gedeckten Auges zu unterdrücken.

Wenn ein Auge vollständig erblindet ist, begleitet es gleichwohl die Bewegungen des noch sehenden, und zwar ebenso bei Parallel- als bei Convergenzbewegungen. Wenn beide Augen vollständig erblindet sind, bewegen sie sich dennoch immer gleichzeitig. Bei einem „absolut blind Gebornen" fand Donders[1] „parallele Augenbewegungen in allen Richtungen."

Schielende, welche nachweisbar nur das Netzhautbild des einen Auges auffassen, bewegen gleichwohl beide Augen gemeinschaftlich.

Die unwillkürlichen Bewegungen beim Nystagmus erfolgen in beiden Augen gleichzeitig und in analoger Weise.

Bei Parese gewisser Augenmuskeln sind die Kranken, obwohl sie durch die Doppelbilder sehr belästigt werden, auch dann nicht im Stande beide Augen auf gewisse Aussenpunkte einzustellen, wenn sie bei einäugigem Sehen jedes Auge für sich auf jene Punkte einzustellen vermögen. Könnten sie jedes Auge unabhängig vom anderen innerviren, so müsste ihnen die gleichzeitige Einstellung beider Augen auf alle die Punkte möglich sein, auf die sie jedes Auge für sich einzustellen vermögen.

Diese Thatsachen beweisen, dass die associirten Innervationen und Bewegungen auch dann vorhanden sind, wenn sie das Sehen nicht fördern oder gar stören.

Hering hat aus dem Gesetze der gleichmässigen Innervation beider Augen, wie er es nennt, noch folgende Erscheinung erklärt: Wenn man Jemanden geradeaus und in die Ferne blicken lässt, dann z. B. in die linke Gesichtslinie 12—15 Ctm. vom Auge eine Nadelspitze hält, und nun den Blick auf diese richten lässt, so geräth das linke Auge während der Ueberführung des Blickpunktes in eine gewisse Unruhe, welche sich durch ein leichtes Hin- und Herzucken desselben verräth. Wären die Augen in ihren Bewegungen von einander unabhängig, so brauchte nur das rechte Auge innervirt zu werden, während das linke, dessen Gesichtslinie schon auf die Nadelspitze gerichtet ist, gar keine Innervation be-

1 Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 383. 1876.

dürfte. Steht aber dieses Auge bei dem Versuche unter dem Einflusse zweier gleichzeitiger antagonistischer Innervationen, welche sich während des Ablaufes der Blickbewegung nicht immer genau aufheben, so muss das Auge in ein leichtes Hin- und Herschwanken kommen, bis die richtige, so zu sagen neutrale Innervation eingetreten ist. Dasselbe Zucken zeigt sich, wenn man umgekehrt die Aufmerksamkeit und damit den Blick von der Nadelspitze wieder auf den Punkt richten lässt, der in der Ferne auf der linken Gesichtslinie liegt. Auch kann man den Versuch mit demselben Erfolge anstellen, während das andere Auge geschlossen ist: Nach längerer Uebung, oder wenn man ein Auge benützt, welches wie z. B. beim Mikroskopiren, oft in einseitiger Weise gebraucht worden ist, zeigt sich das Zucken nur schwach oder gar nicht. Sonst ist es immer sehr deutlich.

Mehrere schon im Capitel X. besprochene Thatsachen erläutern und bestätigen ebenfalls die gleichmässige Innervation beider Augen. Wenn in der S. 504 beschriebenen Weise das eine von zwei correspondirenden Netzhautbildern um das Netzhautcentrum etwas verdreht wird, so führen beide Augen eine kleine Rollung derart aus, dass beide Netzhautbilder wieder in die correspondirende Lage kommen, obwohl hierzu die alleinige Rollung des einen Auges genügen würde.

Bei gleicher Stellung einer Gesichtslinie hat, wie wir sahen, die Netzhaut eine verschiedene Lage, je nachdem der Blickpunkt auf derselben in der Ferne oder in der Nähe liegt. Denkt man sich bei einer gegebenen nahen Lage des Blickpunktes die Netzhäute zunächst so gestellt, wie es dem Listing'schen Gesetze entsprechen würde, so muss man sich weiter beide Augen etwas um die Gesichtslinie (das linke negativ das rechte positiv) gerollt denken, damit sie in diejenige Stellung kommen, welche sie bei der gegebenen Lage des nahen Blickpunktes wirklich haben. Ganz dieselbe Rollung tritt nun auch beim einäugigen Sehen ein. Betrachtet man z. B. mit dem linken Auge ein fernes Object, bringt dann in passender Nähe eine Nadelspitze in die Gesichtslinie und accommodirt auf dieselbe, so erfährt das linke Auge eine kleine negative Rollung, welche unverständlich wäre, wenn man nicht wüsste, dass beide Augen immer gleichzeitig innervirt werden, gleichviel ob sie beide am Sehacte theilnehmen oder nicht.

Bei dem beschriebenen Versuche erfährt das Auge, wie Hering[1]

---

1 Hering, l. c. S. 14.

fand, auch eine kleine unwillkürliche Ablenkung nach oben, während es von der Betrachtung des fernen zur Betrachtung des nähern übergeht; diese Ablenkung muss durch eine willkürliche Gegeninnervation ausgeglichen werden, was sich durch eine kleine Scheinbewegung des fixirten Punktes verräth (vergl. hierüber S. 541).

Mit der Convergenz associirt sich die Accommodation für die Nähe und die Verengerung der Pupille, so dass, wenigstens bei Emmetropen, der Refractionszustand der Augen immer der Entfernung des binocularen Blickpunktes entspricht. Die zugehörigen Innervationen folgen, wie schon v. GRÄFE betonte, ebenfalls dem Gesetze der gleichmässigen Innervation und wir sind daher nicht im Stande, beiden Augen eine verschiedene Accommodation zu ertheilen, und zwar auch dann nicht, wenn Verhältnisse gegeben sind, unter denen eine ungleiche Accommodation zweckmässig wäre. „Wir sind" sagt DONDERS[1] „nicht in der Lage, selbst eine geringe Differenz in der Refraction durch Accommodation auszugleichen, wenn letztere in beiden Augen die gleiche Breite hat; so unzertrennlich ist die Accommodationsspannung des einen Auges mit der des anderen verbunden." Jemand, der gleiche Augen hat, kann sich nach DONDERS leicht von dem Gesagten überzeugen, wenn er ein schwach negatives oder positives Glas vor das eine Auge hält, auf irgend ein Object sieht und dann abwechselnd das eine und das andere Auge verdeckt. HERING[2] hielt eine Nadel, welche er binocular fixirte, ganz nahe vors Gesicht und bewegte sie dann seitwärts, um ihren Abstand von beiden Augen möglichst verschieden zu machen. Dann spaltete er das einfache Nadelbild durch eine leichte Mehrung oder Minderung der Convergenz oder mittels eines Prismas, dessen Kante horizontal lag, in Doppelbilder und überzeugte sich von der Verschiedenheit der Schärfe der beiden Trugbilder. Es erschien dabei das Bild desjenigen Auges als das schärfere, welches den grösseren Abstand von der Nadel hatte. Schloss er dieses, so vermochte er gleichwohl mit dem anderen Auge die Nadel scharf zu sehen, Beweis, dass sie sich nicht ausserhalb des Accommodationsbereiches befand. In ganz ausführlicher Weise hat endlich RUMPF[3] gegenüber den Einwendungen von KAISER[4], SCHNELLER[5] und WOINOW[6] bewiesen, dass die Innervation zur Accommodation eine gleichmässig bilaterale ist.

---

1 DONDERS, Anomal. d. Refr. u. Accomm. S. 471.
2 HERING l. c. S. 135.
3 RUMPF, Zur Lehre von d. binoc. Accommod. Inaug. Dissert. Heidelberg 1877. (Beilageheft zu den klin. Monatsbl f. Augenheilk. Aug. XV.)
4 KAISER, Arch. f. Ophthalmologie XIII. (2) S. 366.
5 SCHNELLER, ebendas. XVI. (1) S. 176.
6 WOINOW, ebendas. XVI. (1) S. 209.

Die schon von E. H. Weber[1] untersuchte Frage, ob die Contraction der Pupille mit der Convergenz der Gesichtslinien oder mit der Accommodation associirt sei, beantwortet sich zunächst dahin, dass sie mit beiden zugleich associirt ist. Beim einäugigen Sehen bringt auch bei ungeänderter Stellung der entsprechenden Gesichtslinie die Accommodation für die Nähe eine Verengerung der Pupille mit sich, sei es dass man auf ein wirklich vorhandenes nahes Object accommodirt, sei es dass man, ohne den anfangs betrachteten fernen Punkt ausser Acht zu lassen, die Accommodation für die Nähe ohne nahes Object erzeugt, was man bei einiger Uebung leicht vermag. Diesen Versuch darf man aber nicht so deuten, als finde hier Accommodation oder Pupillenänderung ohne Aenderung der Convergenz statt; denn in Wirklichkeit ändert sich dabei auch die Stellung des geschlossenen Auges unter dem Lide, was der leise aufgelegte Finger bemerklich macht.

Der Zusammenhang zwischen einem bestimmten Convergenzgrade der Gesichtslinien und einer bestimmten Accommodation lässt sich wie unten erörtert wird, innerhalb gewisser engen Grenzen lösen. Dabei richtet sich, wie Plateau[2] fand, die Pupillenweite nicht nach der Convergenz sondern nach der Accommodation, woraus folgt, dass sie mit der ersteren fester associirt ist, als mit der letzteren. Vgl. hierüber auch Joh. Müller[3] und Donders[4].

Die reflectorische Verengerung oder Erweiterung der Pupillen infolge einseitiger oder doppelseitiger Mehrung oder Minderung des Lichtreizes geschieht ebenfalls stets beiderseits in gleicher Weise, und es folgt also die hierbei stattfindende reine Reflexinnervation einem analogen Gesetze wie die übrigen motorischen Innervationen des Doppelauges. Donders[5] zeigte, dass beide Pupillen sich streng gleichzeitig verengen, wenn auch nur in einem Auge das einfallende Licht vermehrt wird. Er setzte vor beide Augen Convexgläser so, dass das eine etwas höher lag als das andere, und blickte dann nach einem entfernten Lichtpunkte. Er sah nun denselben in zwei übereinander liegenden Zerstreuungskreisen, deren Grösse von der Grösse der Pupille abhing, und konnte so die Veränderungen der Pupillenweite controliren. Hering[6] kam mit einer abgeänderten Methode zu demselben Ergebniss. Fixirt man den Kopf, bringt dicht vor jedem Auge einen kleinen feststehenden Schirm mit einem feinen Loche an und stellt dann seine Gesichtslinien so ein, dass jede durch das Loch des Schirmes der betreffenden Seite hindurchgeht, so ver-

---

1 Weber,
2 Plateau, l'Institut 1835. S. 103.
3 Donders l. c. S. 484.
4 Joh. Müller, Handb. d. Physiol. II. S. 237.
5 Donders l. c. S. 483.
6 Hering l. c. S. 134.

schmelzen die Bilder der beiden Zerstreuungskreise zu einem einzigen. Hat man durch den einen Schirm dicht oberhalb, durch den andern dicht unterhalb des ersten Loches ein zweites feines Loch gestochen, so erhält man bei binocularer Verschmelzung der beiden ersten Löcher drei Bilder als drei kleine übereinander liegende Scheiben, von welchen die mittlere binocular, die obere und die untere nur von je einem Auge gesehen werden. Man kann es nun leicht so einrichten, dass die obere und die untere Scheibe genau gleich gross erscheinen. In den einen Schirm ist ferner auswärts von den beiden feinen Löchern ein grösseres Fenster geschnitten, welches zunächst durch einen Deckel geschlossen ist. Oeffnet man dasselbe plötzlich, so dass eine hinreichende Lichtmenge auf die periphere Netzhaut des einen Auges fallen kann, so sieht man den obern und den untern Zerstreuungskreis sich gleichzeitig verkleinern.

Das Bestehen der beschriebenen Associationen schliesst nicht aus, dass unter bestimmten Umständen die betheiligten Muskeln auch eine mehr oder weniger selbstständige Innervation erfahren können, wie dies fast von allen Associationen gilt, welche im Bereiche des dem Willen unterworfenen motorischen Apparates vorkommen. Schon oben S. 507 haben wir die im Interesse der Correspondenz erfolgende einseitige Hebung oder Senkung eines Auges besprochen, Bewegungen, welche sich von den gewöhnlichen Augenbewegungen auch dadurch unterscheiden, dass sie nicht durch einen Ortwechsel der Aufmerksamkeit, sondern nur durch das Streben nach deutlicherer Wahrnung eingeleitet werden.

Ferner ist es, wie Plateau[1] fand, möglich, bei unveränderter Convergenz der Gesichtslinien die Accommodation innerhalb gewisser Grenzen zu ändern (relative Accommodationsbreite). Wenn man, wie Donders[2] that, eine schwache Convex- oder Concavbrille aufsetzt und Dinge betrachtet die in mittler Blickweite liegen, so sieht man dieselben anfangs undeutlich, weil jetzt der durch die Brille veränderte Refractionszustand des optischen Apparates nicht mehr der Entfernung des Blickpunkts entspricht; nach einiger Zeit aber ändern die Augen ihren Accommodationszustand und gleichen dadurch den durch die Brille eingeführten Fehler aus, womit aber ein Gefühl von Anstrengung verbunden ist, so lange man sich noch nicht an die Brille gewöhnt hat. Wählt man von vornherein zu starke Gläser, so bleibt nur die Alternative, entweder einfach und sehr undeutlich, oder zwar deutlich aber doppelt zu sehen.

Setzt man nach dem Vorgang von Donders vor beide Augen je ein schwaches Prisma mit verticaler Kante, so muss man, um z. B.

---

1 Plateau, l'Institut 1835. S. 103.
2 Donders, Holl. Beiträge I. S. 379. 1846.

Dinge in mittler Blickweite einfach zu sehen, je nachdem die brechende Kante nach aussen oder innen liegt, die Convergenz der Gesichtslinien mehren oder mindern. Da sich mit dieser Convergenzänderung eine, hier ganz unzweckmässige Aenderung der Accommodation verbindet, so sieht man zunächst undeutlich. Aber auch hier tritt bei schwachen Prismen eine Correction dadurch ein, dass die Accommodation allmählich wieder nahezu auf das frühere Maass zurückkehrt.

Bei haploskopischen Versuchen kann man durch Veränderung der Entfernung der Bilder vom Kopfe oder der Distanz der Bilder untereinander ebenfalls alle möglichen Grade der Disharmonie zwischen den Augenstellungen und der Entfernung der Gesichtsobjecte herbeiführen und sich überzeugen, dass mässige Störungen durch Aenderung der Accommodation corrigirt werden. Schliesslich wird es nach längerer Uebung in dergleichen Versuchen möglich, ohne alle besondere Veranstaltungen bei unveränderter Fixirung eines beliebig entfernten Objects die Accommodation etwas zu ändern.

Zahlreiche Messungen der bei bestimmten Convergenzen der Gesichtslinien möglichen Accommodationsänderungen verdanken wir Donders [1].

Die Association der Augenbewegungen betrachtete Joh. Müller [2] als angeboren. Den directen Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht betreffs der Parallelbewegungen liefern nach Hering's [3] Ansicht die Neugebornen. Da die cerebrale oder psychische Reife derselben eine sehr verschiedene ist, so muss man zur Beobachtung solche Neugeborne wählen, deren Schlaf durch längere Perioden einer ganz spontanen Munterkeit unterbrochen ist, wobei sie die Augen durch längere Zeit hinreichend offen halten. Man überzeugt sich dann leicht, dass die Augen vorherrschend Parallelbewegungen ausführen, während bei den Bewegungen andrer Theile und insbesondere den mimischen Bewegungen die symmetrische Association deutlich ausgeprägt ist. Man findet ferner auch die Association zwischen der Hebung der Augen, der Lider und des Kopfes, sowie die Association zwischen Seitwärtswendung der Augen und des Kopfes schon deutlich ausgesprochen. Seltner zeigen sich die symmetrischen Bewegungen der Augen (Convergenz- und relative oder schwache absolute Divergenzbewegungen).

Für den angebornen Zusammenhang zwischen Convergenz und

---

1 Donders, Anomal. d. Refract. u. Accommod. S. 93.
2 Joh. Müller, Handb. d. Physiol. II. S. 103. 1840.
3 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen § 6.

Accommodation hat DONDERS die Thatsache angeführt, dass bei hypermetropischen Kindern sich häufig convergirendes Schielen entwickelt.

Die oben erörterten Ausnahmen von der gewöhnlichen Association sind von HELMHOLTZ[1] als Beweis dafür angesehen worden, dass letztere nicht auf angebornen organischen Einrichtungen beruhe. Indessen ist von fast allen angebornen Associationen im Gebiete der willkürlichen Muskulatur bekannt, dass sie eine mehr oder minder grosse Unabhängigkeit der dabei betheiligten Einzelapparate nicht ausschliessen.

Die Angaben HERING's über die associirten Augenbewegungen der Neugebornen sind von RAEHLMANN und WITKOWSKY[2], welche 40 Kinder in den ersten zehn Lebenstagen untersuchten, in allen wesentlichen Punkten bestätigt worden. Sie kamen ebenfalls zu dem Ergebnisse, dass „die meisten Augenbewegungen der neugebornen Kinder scheinbar associirte Seitenbewegungen sind". Die Convergenz- und Divergenzbewegungen, welche zwischendurch beobachtet wurden, fassen die Genannten als nicht coordinirte Bewegungen auf. Ausserdem aber constatirten sie „oft" Höhenabweichungen, über deren Grösse sie nichts angaben, und „bisweilen" vollkommen einseitige Bewegungen, welche von den einseitigen Bewegungen, wie sie von den Genannten an Schlafenden beobachtet wurden, bisweilen gar nicht, bisweilen durch ihre grössere Raschheit verschieden waren. Dass RAEHLMANN und WITKOWSKY, wie auch SCHOELER[3], nicht coordinirte Augenbewegungen oft beobachteten, erklärt sich wohl daraus, dass sie Neugeborne ohne Auswahl untersuchten. Viele derselben kommen aus ihrem schläfrigen Zustande eigentlich nie recht heraus und führen noch tagelang eine Art Fötalleben. Im Schlafe aber kommen, wie RAEHLMANN und WITKOWSKY fanden, auch bei älteren Kindern und bei Erwachsenen nicht coordinirte, „atypische" Augenbewegungen vor.

Die Frage, ob und inwieweit die Association der Augenbewegungen angeboren ist, darf nicht, wie es geschehen ist, vermengt werden mit der ganz andern Frage, ob Neugeborne schon binocular oder überhaupt fixiren. SCHOELER, sowie RAEHLMANN und WITKOWSKY haben übereinstimmend mit früheren Beobachtern gesehen, dass die Kinder in den ersten Tagen nach der Geburt selbst Flammen und andere helle Dinge nicht fixiren. Dasselbe hatte auch HERING[4] angegeben. Die Angaben der verschiedenen Autoren über die Zeit, zu welcher die ersten deutlichen Zeichen des Fixirens auftreten, sind sehr verschieden und schwanken zwischen wenigen Tagen und mehreren Wochen.[5] Hierbei kommt offenbar die schon oben betonte grosse Verschiedenheit der psychischen Reife der Neugebornen sehr in Betracht. Hat doch DONDERS[6] mit ENGELMANN „binoculare Fixation mit Veränderung der Convergenz bei einem männlichen Kinde kaum eine Stunde nach der Geburt" wahrgenommen,

1 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 472.
2 RAEHLMANN und WITKOWSKY, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1877. S. 454.
3 SCHOELER, Arch. f. Ophthalmologie XIX. (1) S. 41. 1873.
4 HERING l. c. S. 21.
5 Vergl. RAEHLMANN u. WITKOWSKY l. c.
6 DONDERS, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 383. 1876.

was, wie er hinzufügt, „sicher eine Ausnahme" war, ja sogar ein Kind beobachtet [1], welches „wenige Minuten nach der Geburt einen vorgehaltenen Gegenstand sehr bestimmt binocular fixirte und nicht allein demselben bei seitlichen Bewegungen folgte, sondern auch bei Annäherung die Convergenz vermehrte, bei Entfernung des Gegenstandes verringerte."

Der Thatsache, dass dem von räumlichen Wahrnehmungen oder Vorstellungen geleiteten Willen gegenüber sich die beiden Augen wie ein einfaches Organ verhalten, entspricht die im I. Capitel erörterte Correspondenz der Netzhäute, der zu Folge sich in Bezug auf die identischen Breiten- und Höhenwerthe und die dadurch bedingten einfachen Sehrichtungen beide Augen ebenfalls wie ein einfaches Organ verhalten. Die sensorische Correspondenz der Netzhäute hat ihr motorisches Correlat in der durch die Association bedingten Correspondenz der Bewegungen.[2] Dafür, dass diese zweifache Correspondenz in den Functionen beider Augen auf angeborener organischer Grundlage ruht, lassen sich mancherlei Erfahrungen aus der Anatomie und Pathologie anführen. Betreffs der Correspondenz der Netzhäute gehört hierher das Vorkommen partieller, auf beiden Netzhäuten correspondirend localisirter Lähmungen, insbesondere der doppelseitigen Hemiopie, welche letztere sich nach Munk's [3] Angaben auch experimentell an Affen erzeugen lässt; ferner die partielle Kreuzung der Fasern im Chiasma nerv. opt., für welche insbesondere Gudden [4] neuerdings zahlreiche Thatsachen beigebracht hat. Während bei gewissen Thieren, denen wir nach der Lagerung ihrer Augen zwei völlig getrennte Gesichtsfelder zuschreiben müssen, die Sehnerven vollständig gekreuzt sind, ist beim Menschen und bei einer Anzahl von Thieren, deren Gesichtsfelder sich theilweise decken, diese Kreuzung unvollständig gefunden worden, derart, dass nicht alle Fasern jedes Tractus opticus zum Auge der entgegengesetzten Seite verlaufen, sondern ein Theil im Chiasma zum Auge derselben Seite abschwenkt.

Betreffs einer organischen Grundlage für die Association der Bewegungen sind, abgesehen von den in der Physiologie der Grosshirnrinde erwähnten Thatsachen, besonders Adamük's [5] Versuche an Hunden zu erwähnen, welche ebenfalls ergaben, dass die bei natür-

1 Donders, Arch. f. Ophthalmologie XVII. (2) S. 34. 1871.

2 Nach einer von Hering (Beiträge zur Physiol. V. § 124) kurz angedeuteten Theorie entspricht ebenso der symmetrisch associirten Innervation bei Näherung und Fernerung des Blickpunktes eine symmetrische Vertheilung der Tiefenwerthe auf der Doppelnetzhaut.

3 Vergl. dieses Handb. II. 2. Abth. S. 326.

4 Gudden, Arch. f. Ophthalmologie XX. (2) S. 249. XXI. (3) S. 199. XXV. (1) S. 1.

5 Adamük, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1870. Nr. 5. S. 66.

licher Innervation associirten Muskeln auch durch künstliche centrale Reizung aus einem Punkte des Gehirns in associirte Thätigkeit versetzt werden können, Thatsachen, die zwar eine verschiedene Deutung zulassen, aber jedenfalls sehr nahe legen, dass die Association der Augenbewegungen, um mit AUBERT[1] zu sprechen, „auf anatomischer Gruppirung der Nervenelemente und auf einem anatomisch gegebenen Mechanismus beruht."

ADAMÜK reizte mit dicht bei einander stehenden Electroden durch Inductionsschläge die Vorderhügel der Corpora quadrigemina. Bei Reizung des rechten Vorderhügels erhielt er Bewegungen beider Augen nach links, bei Reizung des linken Bewegungen beider Augen nach rechts. „Durch die Reizung der verschiedenen Punkte jedes Hügels kann man, sagt ADAMÜK, mannichfaltige Bewegungen hervorrufen, aber immer mit beiden Augen zu gleicher Zeit und in derselben Richtung. Wird länger gereizt, so dreht sich auch der Kopf nach derselben Seite, wie die Augen. Wenn durch eine tiefe Incision die beiden Hügel getrennt sind, beschränkt sich die Bewegung nur auf die Seite der Reizung." Bei allen diesen Bewegungen bleibt die Pupille unverändert. Reizt man in der Mitte zwischen den Vorderhügeln, so erhält man symmetrische Bewegungen und zwar stellen sich die im Ruhestande nach unten convergirenden Augen parallel, wenn man nach vorn reizt. Weiter nach hinten gibt die Reizung Bewegung beider Augen nach oben mit Erweiterung der Pupille, noch weiter nach hinten Convergenz nach oben. Wenn man „den hinteren untern Theil der vorderen Hügel reizt", so zeigt sich starke Convergenz nach unten mit Verengerung der Pupille. DONDERS[2], in dessen Laboratorium ADAMÜK arbeitete, bestätigt diese Ergebnisse.

ZWÖLFTES CAPITEL.

Die Localisirung bei bewegtem Blicke.

Wir haben, wie aus den Darlegungen der beiden letzten Capitel hervorgeht, zwei Classen von Augenbewegungen zu unterscheiden. Die eine umfasst die eigentlichen Blickbewegungen, durch welche die Ortsveränderungen des Blickpunktes bewirkt werden; sie sind eine Folge davon, dass die Aufmerksamkeit ihren Ort im Raume wechselt, und werden also lediglich durch räumliche Wahrnehmungen

1 AUBERT, Handb. d. gesammt. Augenheilk. II. (2) S. 668.
2 DONDERS, Arch. f. Ophthalmologie XVIII. (2) S. 153. 1872.

oder Vorstellungen veranlasst und geleitet. Die andere Classe umfasst diejenigen Bewegungen, welche, während die Aufmerksamkeit auf demselben Orte ruhen bleibt, durch den Drang zur deutlicheren Wahrnehmung des Gegenstandes herbeigeführt werden. Hierher gehören z. B. die auf S. 506 beschriebenen Bewegungen, mittels welcher eine durch Prismen oder sonstwie herbeigeführte allgemeine Längsdisparation der beiden Netzhautbilder beseitigt wird, ebenso die Rollungen der Augen, durch welche die gestörte Correspondenz der beiderseitigen Bildlagen wiederhergestellt wird (S. 504); ferner die Accommodationsbewegungen, welche bei unveränderter Lage des Blickpunktes dann eintreten können, wenn die gewohnte Harmonie zwischen Convergenzgrad und Entfernung des betrachteten Gegenstandes irgendwie gestört worden ist (S. 527).

Wir könnten diese zweite Classe von Bewegungen als die Correctivbewegungen bezeichnen, weil sie sämmtlich dazu dienen, die Störung der gewohnten Leistungsfähigkeit des Gesichtsorganes durch äussere oder innere Bewegungen der Augen zu corrigiren. Im Folgenden beschäftigen wir uns nur mit den eigentlichen Blickbewegungen.

I. Die Localisirung bei Blickbewegungen nach den Dimensionen der Breite und Höhe.

Im I. Capitel haben wir jedem einzelnen Deckpunktpaare und entsprechend der von ihm ausgelösten Empfindung einen bestimmten positiven oder negativen Höhen- und Breitenwerth in Bezug auf die Netzhautmitte und auf den Kernpunkt des Sehfeldes zugeschrieben, welche Raumwerthe wir als die relativen Raumwerthe bezeichnen wollen. Dabei hielten wir uns jedoch nur an die Localisirung bei ruhendem Blicke. Für die Localisirung bei bewegtem Blicke ergibt sich nun zuvörderst der Satz, dass durch die Bewegung an sich und wenn nicht durch dieselbe anderweite Erfahrungsmotive der Localisirung in Wirksamkeit gesetzt werden (vergl. Cap. XIII), die relativen Raumwerthe der Netzhautstellen und der zugehörigen Empfindungen nicht geändert werden, dass aber die absoluten, d. h. die auf den wirklichen Raum[1] bezogenen Raumwerthe sich ändern und

1 Streng genommen sind die Raumwerthe, welche wir hier als die absoluten bezeichnen, nicht auf den wirklichen Raum d. h. auf die durch Urtheil und Schluss gewonnene Vorstellung von den drei Hauptebenen zu beziehen, sondern auf die Hauptebenen eines Raumes, den wir als den Fühlraum bezeichnen möchten, dessen Lage hauptsächlich durch die sogenannten Gleichgewichtsgefühle bestimmt wird und uns unmittelbar, nicht erst durch Reflexionen bewusst ist. Wir sind aber schon in der Einleitung der Einfachheit wegen von der Annahme ausgegangen, dass unsre Vorstellung (unser Gefühl) von der Lage der Hauptebenen des

zwar alle in gleichem Sinne und Maasse. Die geänderte Lage der Hauptsehrichtung bedingt also eine entsprechende Lageänderung des ganzen Systems der Sehrichtungen, ohne dass dieses in sich eine Aenderung erfährt; mit der Ortsänderung des Kernpunktes verbindet sich eine Ortsänderung des ganzen Complexes der Gesichtsempfindungen, welchen wir als Sehfeld oder Sehraum bezeichnet haben, aber die relative Lage der einzelnen Empfindungen dieses Complexes d. i. die Anordnung der Sehdinge im Sehraum gehorcht nach wie vor denselben Gesetzen, wie bei ruhendem Blicke.

Da sich nämlich bei jeder Blickbewegung die Bilder der Aussendinge auf der Netzhaut verschieben und somit ihre relativen Raumwerthe ändern, wir die Dinge aber dabei gleichwohl im Allgemeinen in Ruhe sehen, so folgt, dass die durch die Bildverschiebung bedingte Aenderung der relativen Raumwerthe compensirt wird durch die bei der Blickbewegung stattfindende Aenderung des absoluten Raumwerthes des ganzen Empfindungscomplexes oder des Sehraumes und damit jeder Einzelempfindung oder jedes Sehdinges, und dass also beide Aenderungen gleich gross aber entgegengesetzt sind. Wäre dies nicht der Fall, so müssten die Dinge während der Bewegung des Blickes ihre scheinbare Lage ändern, es müssten Scheinbewegungen und Aenderungen der scheinbaren Gestalt auftreten. Solche zeigen sich, wie wir sehen werden, wirklich in allen Fällen, wo die Aenderung der absoluten Raumwerthe die Aenderung der relativen nicht genau oder gar nicht compensirt.

Die Aenderung der absoluten Raumwerthe kann ebensowohl die auf die Hauptebenen des Raumes bezogenen Breiten- und Höhenwerthe als auch die Tiefenwerthe der von der Doppelnetzhaut ausgelösten Empfindungen im positiven oder negativen Sinne betreffen.

Dagegen ist bis jetzt kein sicherer Fall bekannt, in welchem lediglich durch Blickbewegungen die absoluten Raumwerthe der Netzhautstellen derart geändert würden, wie die relativen Raumwerthe der Netzhautbilder der Aussendinge bei Rollung des Auges um die feststehende Gesichtslinie. Wohl aber findet eine solche Aenderung der absoluten Raumwerthe statt und es wird gleichsam die Axe der Polarcoordinaten für die Raumwerthe verändert, wenn wir den Kopf zur Seite neigen, was beim gewöhnlichen Sehen nicht vorkommt.

In wieweit wir bei primärer Stellung des Kopfes und der bino-

---

Raumes eine richtige sei, was heissen soll, dass die Hauptebenen des Fühlraumes mit denen des gedachten Raumes oder Denkraumes zusammenfallen. Dies ist freilich nicht immer der Fall, wie u. A. die Experimente Mach's über die Bewegungsempfindungen zur Genüge lehren (vergl. Mach, Die Lehre von den Bewegungsempfind. Leipzig 1875).

cularen Blicklinie richtig localisiren, haben wir im VII. Capitel erörtert; entsprechend werden wir auch bei bewegtem Blicke und bei jeder anderen Lage der binocularen Blicklinie localisiren, falls wirklich die dadurch geänderte Lage der Bilder auf unserer Netzhaut durch die Aenderung der absoluten Raumwerthe genau ausgeglichen wird. Es wäre also zu untersuchen, innerhalb welcher Grenzen letzteres der Fall ist. Man hat sich jedoch seither mit der Thatsache der annähernd richtigen Localisirung bei bewegtem Blicke begnügt und eingehendere Untersuchungen nicht angestellt. Es liegen uns daher nur vereinzelte hierhergehörige Thatsachen vor.

Das erste Erforderniss für die richtige Localisirung würde sein, dass die durch die Aenderung der absoluten Raumwerthe bedingte Ortsveränderung des Kernpunktes genau die gleiche wäre, wie die Ortsveränderung des Blickpunktes; das zweite wäre, dass die Sehdinge nicht nur im Sehraume dieselbe relative Lage zu einander hätten, wie die wirklichen Dinge im wirklichen Raume, soweit dies nach den Auseinandersetzungen des VII. Capitels überhaupt denkbar ist, sondern dass auch ihre absolute, d. h. die auf die Hauptebenen des wirklichen Raumes bezogene Lage dieselbe wäre.

Die Bewegungen des Blickpunktes werden veranlasst und geleitet durch Ortsveränderungen der Aufmerksamkeit. Zieht ein zunächst indirect gesehenes Object die Aufmerksamkeit auf sich, so wird durch diesen Ortwechsel der Aufmerksamkeit und das Streben, das Object deutlich zu sehen, die entsprechende Blickbewegung ohne unser weiteres Zuthun ausgelöst. Die Wanderung der Aufmerksamkeit setzt die Wanderung des Blickpunktes. Ehe also noch die Blickbewegung beginnt, ist der Ort, der das Ziel derselben bildet, bereits im Bewusstsein und von der Aufmerksamkeit erfasst, und die Lage dieses Ortes im Sehraume bestimmt die Richtung und Grösse der Blickbewegung. In demselben Maasse aber als die Aufmerksamkeit ihren Ort im Raume ändert, ändern sich zugleich auch die absoluten Raumwerthe der Netzhaut und es wird die Richtung und Grösse dieser Aenderung lediglich durch die Richtung und Grösse des Abstands bedingt, welchen der jeweilige neue Aufmerksamkeitsort in Bezug auf den alten hat.

Dass die Aenderung der absoluten Raumwerthe in der That allein von dem Ortswechsel der Aufmerksamkeit, nicht aber erst nachträglich von der dadurch ausgelösten Blickbewegung bedingt ist, wird dadurch bewiesen, dass erstere auch dann eintritt, wenn letztere anomaler Weise ausbleibt. Ist z. B. der äussere Gerade des rechten Auges gelähmt und der Kranke schliesst das linke Auge, so

scheint sich ihm alles Sichtbare nach rechts zu bewegen; er unterliegt dem sogenannten Gesichtsschwindel. Sobald sich nämlich seine Aufmerksamkeit nach rechts wendet, erfahren alle Breitenwerthe der Netzhaut einen entsprechenden positiven Zuwachs, und er localisirt, da wegen der Lähmung das Auge und seine Netzhautbilder ihre Lage nicht verändern, die Sehdinge in demselben Maasse weiter nach rechts, als der Aufmerksamkeitsort nach rechts gewandert ist.

Ebenso treten Scheinbewegungen der Aussendinge ein, wenn die Augen sich bewegen, ohne dass doch der Aufmerksamkeitsort sich geändert hat. Solche anomale, nicht durch den Ortwechsel der Aufmerksamkeit, sondern durch andere unbewusste Vorgänge ausgelöste Bewegungen treten z. B. ein, wenn man sich mehrere Male rasch um sich selbst gedreht hat und dann plötzlich stehen bleibt. Körper und Augen setzen dann die Drehung in der Richtung der vorangegangenen Körperdrehung fort, es werden dadurch die Netzhautbilder verschoben, und da diese Verschiebung der Bilder hier nicht durch Aenderung der absoluten Raumwerthe compensirt wird, so scheinen sich die Dinge entsprechend der Bildverschiebung in derjenigen Richtung zu verschieben, welche der Richtung der Augendrehung entgegengesetzt ist (Purkinje's Gesichtsschwindel). Dass dabei die starke unwillkürliche Nachdrehung der Augen, und nicht die viel geringere Nachdrehung des Körpers die Verschiebung der Netzhautbilder im Wesentlichen bedingt, kann man leicht mit Hülfe eines zuvor erzeugten dauerhaften Nachbildes beweisen.[1]

In analoger Weise führen auch alle passiven, nicht durch Muskelcontraction bewirkten Augenbewegungen, wie man sie z. B. durch seitlichen Fingerdruck auf den Augapfel herbeiführen kann, zu entsprechender Scheinbewegung der sichtbaren Dinge.

Abgesehen also davon, dass durch die jeweilige Augenstellung die Lage der Bilder auf der Netzhaut mit bestimmt wird, haben die Stellungen und Bewegungen der Augen an sich keinen Einfluss auf die Localisirung, und nur insoweit, als sie Ausdruck der jeweiligen Localisirung der Aufmerksamkeit und des dadurch bedingten absoluten Raumwerthes der Netzhautstellen sind, beeinflussen sie scheinbar die Localisirung. Wie sich dies in den oben angeführten Fällen in sehr auffälliger und schlagender Weise offenbart, so zeigt es sich auch in geringerem Grade bei zahlreichen anderen Gelegenheiten.

Bewegt sich z. B. die Gesichtslinie bei fixirtem Kopfe in secun-

---

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. S. 31. 1861.

dären ebenen Bahnen, so erfährt dabei das Auge, wie S. 487 erörtert wurde, zugleich eine Rollung um die Gesichtslinie. Lassen wir also z. B. den Blick entlang einer erheblich über der primären Blickebene gelegnen Horizontalen hingleiten, so wandert die Aufmerksamkeit horizontal nach rechts oder links, und es erfahren die Breitenwerthe der Netzhaut den entsprechenden positiven Zuwachs. Die Netzhautbilder der einzelnen Linienpunkte aber ändern in Folge ihrer Verschiebung nicht blos ihre relativen Breitenwerthe im entgegengesetzten Sinne und Maasse, welchenfalls sie ja doch immer auf demselben Netzhautmeridian bleiben würden, sondern sie verlassen diesen Meridian in Folge der Rollungen und ändern daher zugleich ihre Höhenwerthe um ein Geringes. Die Folge ist, dass die Linie ihre scheinbare Lage ändert; wandert der Blick nach rechts, so dreht sie sich scheinbar im positiven, wandert er nach links, im negativen Sinne. Lässt man den Blick rasch entlang der Linie hingleiten, wobei man nicht Zeit hat, auf die ganze Linie zu achten, sondern nur das in der Nähe des Blickpunktes liegende Stück auffasst, so resultirt aus den raschen scheinbaren Richtungsänderungen der Linie das Bild einer gekrümmten, nach unten concaven Linie, eine Beobachtung, welche zuerst Helmholtz[1] gemacht hat. Analoges gilt von allen geraden Linien, welche in secundären Blickbahnen gelegen sind; sie erscheinen unter den genannten Umständen stets concav nach dem Orte des primären Blickpunktes.

Man darf bei dem beschriebenen Versuche die horizontale Linie nicht mit allzu stark gehobenem Blicke betrachten, weil sonst die Täuschung durch eine andere mehr oder weniger compensirt wird. Will man nämlich den stark gehobenen Blick horizontal nach rechts oder links wenden, so weicht die Gesichtslinie, je näher sie dem rechten oder linken obern Winkel der Orbita kommt, mehr und mehr nach unten ab, weil die Bewegung einen Widerstand findet, der im engern Blickfelde nicht vorhanden ist. In Folge dessen kommt die Linie über den Blickpunkt zu liegen und die Aufmerksamkeit muss etwas ansteigen, wodurch eine Innervation zu stärkerer Hebung des Auges ausgelöst und der Blickpunkt wieder auf die Linie gebracht, beziehungsweise auf derselben erhalten wird. Dementsprechend würde die Linie, wenn keine gleichzeitige Rollung stattfände, nach rechts und links ansteigend und also nach oben concav erscheinen.

Wenn, wie wir sahen, bei raschem Hingleiten des Blickes auf einer in secundärer Blickbahn gelegenen Geraden dieselbe concav nach dem primären Blickpunkte erscheint, so ist zu erwarten, dass umgekehrt eine nach dem primären Blickpunkte hin convexe Linie

---

1 Helmholtz, Physiol. Optik. S. 551.

von entsprechender Krümmung unter den genannten Umständen gerade erscheinen wird. Küster[1] hat angegeben, dass Reihen leuchtender Punkte im Dunkelraume, welche annähernd[2] in den S. 492 erörterten Richtkreisen eines kugligen Gesichtsfeldes liegen, ihm zwar gekrümmt erschienen, wenn er einen Punkt derselben bei der zugehörigen Secundärstellung des Auges fixirte, aber geradlinig, wenn er den Blick die Linie entlang gleiten liess. Dies setzt natürlich voraus, dass die Blickbewegung hinreichend rasch geschieht und dass man immer nur die dem Blickpunkte näheren Punkte der Reihe betrachtet. Denn nimmt man sich Zeit, die ganze Reihe zu beachten, so wird man sie nothwendig krumm sehen, wie sie ist.

Für ein Auge, dessen Drehpunkt sich in der Entfernung *e e* senkrecht über dem Mittelpunkte der Fig. 55 befände, würden die hyper-

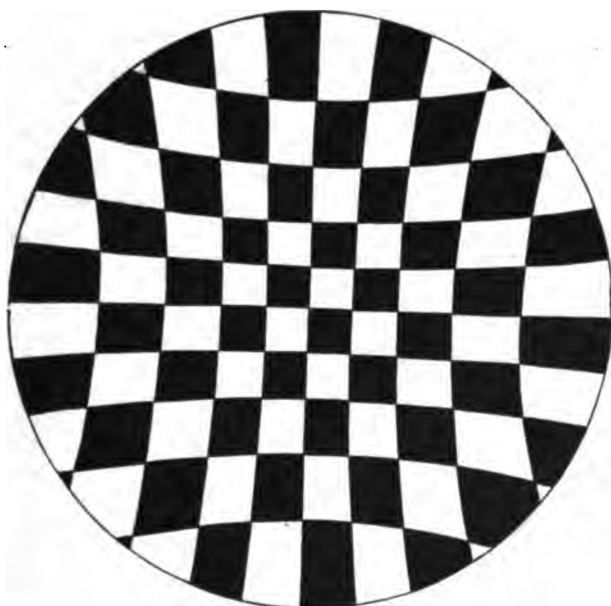


Fig. 55 (nach Helmholtz).

bolischen Grenzlinien der schwarzen und weissen Felder die von Helmholtz sogenannten Richtlinien des Sehfeldes darstellen. Betrachtete Helmholtz in dieser Weise mit bewegtem Blicke eine solche in vergrössertem Maassstabe gezeichnete Figur aus einer entsprechend

1 Küster, Arch. f. Ophthalmologie XXII. (1) S. 149. 1876.
2 Vergl. die Anmerk. 3 auf S. 370.

vergrösserten Entfernung, so sah er die hyperbolischen Linien zwar nicht geradlinig, wohl aber erschien ihm die Figur nicht eben, sondern als eine kuglig-concave Fläche, auf welcher sich die Linien als grösste Kreise darstellten. Nach den im Sehfelde selbst gelegenen Richtungen erschienen die Hyperbeln nicht gekrümmt, nur das Sehfeld selbst erschien so.

Das Netzhautbild eines Richtkreises oder einer Richtlinie hat, wie aus den S. 494 gemachten Erörterungen folgt, die Eigenthümlichkeit, dass es sich nur in sich selbst verschiebt, wenn der Blick auf der Richtlinie hingleitet. Ist also die letztere unbegrenzt, so ändert dabei das Netzhautbild im Ganzen seinen Ort auf der Netzhaut nicht, sondern nur die Einzelpunkte desselben verschieben sich in der Bahn des Bildes. In dieser Beziehung verhält sich das Bild einer Richtlinie ebenso, wie das Bild einer Geraden, welche durch den primären Blickpunkt geht. Denn das Bild einer solchen verschiebt sich ebenfalls nur in sich selbst, wenn der Blick an ihr hinläuft. Hieraus folgert Helmholtz, dass die Richtlinien ebenfalls gradlinig, oder als grösste Kreise des kugeligen Sehfeldes erscheinen müssen. Er erklärt ferner hieraus, dass ihm, wie S. 371 erörtert wurde, die Richtlinien auch bei ruhendem Blicke geradlinig erscheinen, wenn er nicht sie selbst, sondern den zugehörigen primären Punkt des Blickfeldes fixirt.

Da die Erörterung der Theorien, welche über die Entwicklung des Raumsinnes, sei es in ontogenetischer oder phylogenetischer Beziehung aufgestellt worden sind, nicht im Plane dieser Abhandlung liegt, so möge zum Verständniss der obigen Ansicht von Helmholtz hier nur erwähnt werden, dass derselbe die Raumwerthe der Netzhaut als etwas lediglich im Laufe des individuellen Lebens Erworbenes ansieht. Hat der Anfänger im Sehen eine Richtlinie des Gesichtsfeldes mit dem Blicke durchlaufen und sie trotz ihrer Krümmung geradlinig gesehen, weil ihr Bild sich bei der Bewegung in sich selbst verschob, und sein Blick kehrt nun zum primären Punkte zurück, so nimmt er nach Helmholtz die jetzt indirect gesehene Linie nach wie vor für eine Gerade und gewöhnt sich so, die Bilder derjenigen Netzhautlinien, welche den indirect gesehenen Richtlinien entsprechen, auf gerade Linien des Aussenraumes zu beziehen.

Wir haben gesehen, dass diejenigen Augenbewegungen, welche mit gleichzeitiger Rollung um die Gesichtslinie erfolgen, zu Gesichtstäuschungen führen, und könnten es daher wünschenswerth finden, dass solche Rollungen gar nicht vorkämen. Indessen ist dies schon theoretisch genommen unmöglich, weil das Auge keine frei bewegliche Kugel ist, und wäre es auch eine solche, so würde damit der andre und gewiss viel grössere Uebelstand verbunden sein, dass bei einer und derselben Stellung der Gesichtslinie, insbesondere auch bei Primärstellung, die Netzhaut und ihre Mittelschnitte in die verschiedensten Lagen kommen müssten.

so dass selbst in der Primärstellung von einem bestimmten Lageverhältniss zwischen den Mittelschnitten der Netzhaut und den Verticalen und Horizontalen des Aussenraumes nicht mehr die Rede sein könnte. Soll aber jeder bestimmten Stellung der Gesichtslinie relativ zum Kopfe eine ganz bestimmte Lage der Netzhaut unabänderlich zugehören, so werden, wie Helmholtz[1] hervorgehoben hat, die dann überhaupt unvermeidlichen Rollungen durch die Bewegung nach dem Listing'schen Gesetz auf die Weise vertheilt, dass sie um so kleiner sind, je näher die Bewegungsbahnen der Mittellage der Gesichtslinie sind. Dies ist, wenn die Mittellage der Primärstellung entspricht, offenbar die zweckmässigste Vertheilung der unvermeidlichen Rollungen, insoweit man annehmen darf, dass die Häufigkeit, mit welcher die Gesichtslinie eine Secundärstellung einnimmt, um so grösser ist, je näher diese der Mittelstellung liegt. Eine wichtige Folge des Listing'schen Gesetzes ist also die, dass durch dasselbe die unvermeidlichen Rollungen und die dadurch bedingten Scheinverschiebungen der Aussendinge möglichst vermieden sind, und die Localisirung bei bewegtem Blicke mit der bei ruhendem Blicke in den grösstmöglichen Einklang gebracht ist. Nehmen wir dazu die Thatsache, dass nach Listing's Gesetz die Bewegungen des Doppelauges beim Fernsehen zugleich derart sind, dass immer eine möglichst vollkommene Correspondenz der Netzhautbilder erhalten bleibt, so ist die Bedeutung dieses Gesetzes für das Sehen mit bewegtem Blicke im Wesentlichen gekennzeichnet.[2]

II. Die Localisirung bei den Blickbewegungen nach der Dimension der Tiefe.

Ausser den Breiten- und Höhenbewegungen des Blickpunktes und den aus gleichzeitiger Breiten- und Höhenbewegung resultirenden schrägen Bewegungen sind noch die Bewegungen des Blickpunktes nach der Dimension der Tiefe zu erörtern. Auch bei diesen geht der Aenderung der Convergenz die entsprechende Ortsveränderung der Aufmerksamkeit voraus und giebt erst zu jener den Anstoss. Die Aussenpunkte, welche bei Beginn der Blickbewegung soeben noch correspondirende Bilder auf der Doppelnetzhaut gaben, erzeugen im nächsten Augenblicke wegen der veränderten Convergenz der Gesichtslinien querdisparate Bilder, welche bis zu einer gewissen Grösse der Disparation und beim gewöhnlichen Sehen fast immer einfach gesehen werden. Eine Scheinbewegung der Aussendinge nach der Dimension der Tiefe tritt aber auch hier nicht ein, weil die durch die Verschiebung der Netzhautbilder bedingte Aende-

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 484.

2 Ueber die Versuche einer theoretischen Ableitung, beziehungsweise genetischen Erklärung des Listing'schen Gesetzes vergl. Helmholtz, Physiol. Optik § 27; Hering, Beitr. z. Physiol. V. § 114 und Die Lehre vom binocul. Sehen § 19; Donders, Arch. f. d. ges. Physiol. XIII. S. 373.

rung des relativen Tiefenwerthes der Sehdinge compensirt wird durch die mit der Translocation der Aufmerksamkeit gesetzte Aenderung der absoluten Tiefenwerthe, oder anders gesagt, durch die veränderte Lage des Kernpunktes.

Wird bei der Convergenzänderung die Disparation der Netzhautbilder zu gross, und achten wir besonders auf die Doppelbilder, so zeigen diese während der Näherung oder Fernerung des Blickpunktes eine seitliche Bewegung, indem das eine sich nach rechts, das andre nach links verschiebt, womit sich zugleich eine Drehung der Bilder verbinden kann, falls die Augen während der Bewegung eine Rollung erfahren. Da bei vielen Menschen der Gebrauch beider Augen kein ganz gleichmässiger ist, sondern dieselben öfters nur ein Auge und dann fast immer dasselbe benutzen, so ist meistens die Bewegung beider Doppelbilder nicht gleich gross, vielmehr scheint sich das Trugbild des für gewöhnlich einseitig benutzten Auges langsamer seitwärts zu bewegen, als das andre, oder es steht unter Umständen ganz still, und das andre bewegt sich allein. Es ist diese Erscheinung im Einklang mit dem in Cap. V erörterten Verhalten der Sehrichtungen bei Personen, welche oft unocular sehen.

Eine sehr auffällige Scheinbewegung, auf welche Hering[1] hingewiesen hat, tritt ein, wenn bei einäugigem Sehen der Fixationspunkt aus der Ferne in die Nähe verlegt wird oder umgekehrt. Dieselbe erläutert zugleich das Gesetz der Sehrichtungen und das der associirten Innervation.



Fig. 56.

Fixirt man nämlich zunächst einen fernen Punkt, so dass die Gesichtslinien (λl und ϱr Fig. 56) parallel liegen, und bringt in die eine, z. B. linke Gesichtslinie ein kleines nahes Object (p), so scheint sich dieses, wenn man das rechte Auge schliesst und dann für das nahe Object accommodirt, nach links zu bewegen. Das Object erscheint nämlich, ehe es noch fixirt wird, nicht nur näher, als der anfangs betrachtete ferne Punkt, sondern auch nach links von der Medianebene, und der Aufmerksamkeitsort wird also von dem fernen medianen nach einem nahen seitlichen Punkte des Raumes verlegt. Dies bedingt nicht nur

1 Hering, Die Lehre vom binocularen Sehen § 1.

eine Aenderung des absoluten Tiefenwerthes des Kernpunktes, sondern auch eine Aenderung der absoluten Breitenwerthe. Der Aenderung des ersteren entspricht die Verlegung des Kernpunktes aus der Ferne in die Nähe, der Aenderung der Breitenwerthe eine Verschiebung desselben aus der Medianebene nach links. Da sich aber bei dieser Aenderung der absoluten Breitenwerthe der relative Breitenwerth des Netzhautbildes vom fixirten Objecte (p) nicht ändert, vielmehr das linke Auge seine Stellung zum Objecte beibehält, so ergiebt sich eine Scheinbewegung.

Der Aenderung des absoluten Tiefenwerthes entspricht eine Convergenzinnervation, welche für sich den Blickpunkt ungefähr nach p' verlegen würde, der Aenderung der Breitenwerthe eine Innervation zur Linkswendung beider Gesichtslinien, welche dieselben in die Lagen $\varrho r'$ und $\lambda l''$ bringen würde, und welche zugleich die Linkswendung der binocularen Blicklinie aus μm nach $\mu m'$ bedingt. Beide Innervationen finden aber gleichzeitig statt und heben sich in der oben beschriebenen Weise für das linke Auge in ihrer Wirkung auf, während sich ihre Wirkungen für das rechte summiren. So bleibt die linke Gesichtslinie in ihrer Lage, die des geschlossenen Auges kommt ungefähr nach $\varrho r''$ zu liegen und das Object p erscheint annähernd da, wo es wirklich liegt.

Da infolge der Aenderung der Convergenz und Accommodation das linke Auge eine kleine negative Rollung um die festliegende Gesichtslinie erfährt (vergl. S. 497), so verdreht sich das Netzhautbild und man sieht, wenn man als ferneres oder näheres Fixationsobject eine gerade Linie benützt, eine schwache Scheindrehung derselben im entgegengesetzten, positiven Sinne. Endlich zeigt sich auch eine sehr schwache Scheinverschiebung des fixirten Punktes nach unten, was auf einer entsprechend kleinen Abweichung des Auges nach oben beruht.

Man darf bei dem beschriebenen Versuche nicht ein Auge benutzen, welches man sehr viel zu einäugigem Sehen zu gebrauchen pflegt, weil diesenfalls die binoculare Hauptsehrichtung mehr oder weniger genau mit der Gesichtslinie dieses Auges zusammenfällt. Macht man dann aber den Versuch mit dem andern Auge, so ist die Scheinbewegung um so auffallender. Wer stets beide Augen zugleich zu benutzen pflegt, wird mit jedem Auge denselben Erfolg haben. Die ausführliche Beschreibung des Versuches mit allen Cautelen siehe bei Hering (l. c.).

Einfluss der Blickbewegung auf die Sehgrösse. Wenn man die Sehrichtungen in der Weise divergirend annimmt, wie es im Cap. V geschehen ist, so scheint damit zugleich gesagt, dass das einem bestimmten Netzhautbilde entsprechende Sehding um so grösser ist, je entfernter es im Sehraume liegt, wonach die Grösse eines Sehdinges einerseits der Grösse des Netzhautbildes, anderseits der Entfernung, in welcher es erscheint, proportional sein müsste. Bei ruhendem Blicke aber ist es schwer, sich mit Bestimmtheit darüber auszusprechen, in wie weit dem so ist. Der Theil des Sehraumes,

dessen Inhalt wir genauer auffassen, ist auch nach der Dimension der Tiefe nur klein, so dass die Entfernungsdifferenzen der deutlichen Sehdinge nur gering sind. Je grössere Uebung man aber im festen Fixiren und indirecten Sehen hat, desto leichter zerfällt Alles in Doppelbilder. Dazu kommt, dass es schwer ist, bei Vergleichung der Grösse verschieden entfernt liegender Sehdinge streng auseinander zu halten die Grösse, in der man die Dinge sieht und diejenige, in der man sich dieselbe denkt. Erstere ist die eigentliche Sehgrösse, letztere die geschätzte Grösse.

Unter scheinbarer Grösse hat man bald die geschätzte Grösse, bald auch die Grösse des Netzhautbildes oder den Gesichtswinkel (die Kleifung) verstanden. Die Sehgrösse ist von beiden verschieden. Hält man z. B. ein quadratisches Papier horizontal vor sich hin, so dass seine Ränder parallel der Medianebene, beziehungsweise der Frontalebene liegen, und fixirt ungefähr seine Mitte unocular, so sieht man dasselbe nicht genau quadratisch und horizontal. Vielmehr zeigen der rechte und linke Rand des Sehdinges eine schwache Convergenz und der fernere Rand ist etwas kürzer, als der nähere; zweitens liegt der fernere Rand etwas höher als der nähere. Im Netzhautbilde des Quadrates convergiren die seitlichen Ränder unvergleichlich stärker und der fernere Rand ist viel kürzer als der nähere. Das Verhältniss der Grössen des fernen und nahen Randes ist also am Sehdinge ein andres als am Netzhautbilde, und wieder ein anderes am wirklichen Dinge. Die unrichtige Form des Sehdinges hindert aber nicht, zu urtheilen, dass das entsprechende Aussending ein quadratisches ist, und demnach den fernen Rand ebenso gross zu schätzen, als den näheren. Dieses Beispiel zeigt uns also den Unterschied zwischen sogenannter scheinbarer Grösse, Sehgrösse und geschätzter oder gedachter Grösse.

Fixirt man die Mitte des Quadrates flüchtig binocular und ohne auf die Doppelbilder der seitlichen Ränder zu achten, so sieht man es fast genau quadratisch, weil die binoculare Tiefenlocalisirung genauer ist, als die unoculare; doch bleibt ein kleiner Fehler im Sinne des bei einäugiger Fixation begangenen bestehen. Dieser ist viel bedeutender, wenn es sich um grössere Entfernungsdifferenzen der bei ruhendem Blicke gleichzeitig sichtbaren Dinge handelt. Es sind bei ruhendem Blicke überhaupt alle Sehdinge im Vergleich zu den wirklichen in der Richtung nach der Tiefe auffallend zusammengeschoben, und je fester und länger man fixirt und je grössere Uebung man im Doppelsehen hat, desto mehr rückt Alles in eine durch den Kernpunkt gehende Fläche, die Kernfläche, zusammen, so dass, wenn

nicht Erfahrungsmotive zu Hülfe kommen, schliesslich nur noch die mit sehr geringer Querdisparation abgebildeten Dinge vor und hinter jener Fläche erschienen. Den geringen Entfernungsdifferenzen der Sehdinge entspricht dann auch eine geringe Verschiedenheit ihrer Sehgrösse, eine Verschiedenheit, die in auffallendem Missverhältniss zu der Grössenverschiedenheit der wirklichen Dinge steht.

Anders verhält es sich, wenn man den Gesichtsraum mit dem Blicke nach der Dimension der Tiefe durchmisst. Hierbei rückt Alles nicht allzufern Liegende deutlich und der Wirklichkeit viel entsprechender nach der Tiefe auseinander. Wir sind also betreffs der richtigen Tiefenlocalisirung fast noch mehr als bei der Durchmusterung des Sehraumes nach der Dimension der Höhe und Breite darauf angewiesen, durch successives Deutlichsehn der Einzelheiten den Mangel einer simultanen deutlichen Wahrnehmung eines grösseren Sehraumbezirkes zu ersetzen. So wenig zugegeben werden kann, dass die Localisirung der Netzhautbilder in verschiedene Entfernung lediglich durch Convergenzänderungen bedingt sei, so sehr muss im Sinne Brücke's betont werden, dass uns erst durch die Convergenzänderungen die volle Ausnützung und Verwerthung unseres auf der Disparation der Netzhautbilder beruhenden Vermögens der Tiefenwahrnehmung möglich wird.

Mit der Näherung und Fernerung des Blickpunktes geht nun einher das Grösser- oder Kleinersehen des jeweiligen fixirten Dinges. Hält man von zwei gleichlangen und gleichbreiten Streifen Papier den einen 15 dm. entfernt und nach links, den anderen 30 dm. entfernt und nach rechts von der Medianebene und fixirt sie abwechselnd, so sieht man den entfernten nicht ungefähr halb so gross, als den nähern, obwohl sein Netzhautbild nur etwa halb so gross ist, sondern man sieht ihn nahebei, nicht ganz gleich gross wie den näheren. Achtet man aber, während man den einen dauernd fixirt, zugleich auf den andern, so erscheint derselbe in Doppelbildern, die sich meistens theilweise decken, wodurch die Vergleichung der Breite des näheren mit der des ferneren gestört wird. Dagegen kann man die Länge des einfach gesehenen näheren Streifen mit der Länge der Trugbilder des ferneren vergleichen. Man sieht dann die Trugbilder wesentlich kürzer als den nahen einfach erscheinenden Streifen, übrigens aber keineswegs nur halb so lang als diesen. Es entspricht dies der im Cap. VIII. erörterten Thatsache, dass die Localisirung der Trugbilder nach der Tiefe eine unsichere und der wirklichen Entfernung des Objects nicht entsprechende ist. Nur wenn die Trugbilder des einen Streifens dem Bilde des anderen

sehr nahe liegen, kann man eine genauere Vergleichung ihrer beiderseitigen scheinbaren Grössen oder der Gesichtswinkel anstellen.

Achtet man, während man den Blick von dem näheren Papierstreifen auf den ferneren übergehen lässt, zugleich auf den ersteren, so sieht man denselben etwas grösser werden; umgekehrt nimmt die Sehgrösse des ferneren etwas ab, wenn man den Blick von ihm auf den näheren Streifen zurückführt.

Träufelt man eine Atropinlösung in ein Auge, so sieht man nach einiger Zeit mit diesem Auge alle nicht zu nahen Aussendinge kleiner, es tritt sogenannte Mikropsie ein, welche zuerst von Förster[1] näher erörtert wurde. Aubert[2] sah infolge des Einträufelns von etwa $^1/_{500}$ Gran Atropin nach 30 Minuten Buchstaben in 65 dm. Entfernung mit dem atropinisirten Auge nur halb so gross, als mit dem andern. Dabei erschienen die Buchstaben vollkommen scharf und war also das Auge genau accommodirt. Ursache des Kleinersehens ist nach Förster die grössere Accommodationsanstrengung, wie sie ein gesundes Auge nur bei entsprechend grösserer Nähe des Objectes nöthig hat. Trotzdem erscheinen aber merkwürdiger Weise die kleiner gesehenen Dinge nicht näher, sondern, wie Förster und Aubert angeben, vielmehr ferner als bei Betrachtung mit dem gesunden Auge. Ueber eine psychologische Erklärung dieser auffallenden Erscheinung vgl. Förster und Aubert (ll. cc.).

Die Aenderung der Sehgrösse bei Aenderungen der Accommodation zeigt sich auch unter gewöhnlichen Umständen. Wenn man von der einäugigen Fixirung eines fernen Objectes zur Betrachtung eines nahen übergeht, so scheint das ferne kleiner zu werden; umgekehrt wächst die Sehgrösse des näheren, wenn man wieder für das fernere accommodirt. Ueber weitere Beispiele vergl. insbesondere Panum.[3]

III. Die Localisirung bei secundären Lagen der binocularen Blicklinie.

Wir haben im Obigen die Localisirung während der Bewegung erörtert und gesehen, dass dieselbe einerseits vom Ortswechsel der Aufmerksamkeit und der dadurch gesetzten Aenderung der absoluten Raumwerthe, andererseits von der Art der ausgelösten Augenbewegungen und der dadurch bedingten Verschiebung der Netzhautbilder abhängt. Denken wir uns die Blickbewegung in einem beliebigen Momente sistirt, so wird jetzt die scheinbare Lage der Dinge ebenfalls einerseits von der Art abhängen, wie die absoluten Raumwerthe im Vergleich zur primären Lage des Blickpunktes verändert sind, anderseits von der Lage der Bilder auf die Doppelnetzhaut.

1 Förster, Ophthalmol. Beiträge S. 79. 1862.
2 Aubert, Physiologie der Netzhaut S. 329. 1865.
3 Panum, Arch. f. Ophthalmologie V. (1) S. 1. 1859.

Im ersten Abschnitte haben wir bereits die Richtigkeit der Localisirung bei festgehaltenem Blickpunkte für gewisse Lagen desselben untersucht und zwar insbesondere für den Fall, wo die binoculare Blicklinie horizontal und median liegt, und also die Gesichtslinien parallel sind oder symmetrisch convergiren. Betreffs der sonstigen Lagen der binocularen Blicklinie und des Blickpunktes haben wir auf den Mangel eingehender Untersuchungen und im Uebrigen auf diesen Abschnitt verwiesen.

Die Localisirung des Kernpunktes. Jeder bestimmten Lage des (binocularen) Blickpunktes entspricht bei unveränderter primärer Kopfstellung eine ganz bestimmte Stellung des Doppelauges. Anderseits entsprechen den verschiedenen Lagen des Aufmerksamkeitsorts im Raume[1] die verschiedenen Stellungen des Doppelauges, allerdings nicht genau, aber doch mit einer, je nach der Lage jenes Ortes verschiedenen Annäherung. Wir können auch im absolut dunklen Raume unsre Aufmerksamkeit dem oder jenem Orte zuwenden, als ob wir dort etwas suchten oder erwarteten. Dann stellen sich unsre Augen ungefähr auf diesen Ort ein. Taucht dann wirklich an diesem Orte etwas Sichtbares auf, so ist sein scheinbarer Ort schon von vornherein bestimmt.

Am sichersten passt sich die Augenstellung der Richtung der Aufmerksamkeit an, wenn der Ort der letzteren horizontal vor uns in der Medianebene und also geradeaus liegt. Gesetzt nun, wir hätten im dunklen Raume unsere Aufmerksamkeit absichtlich in dieser Weise und zwar in die Ferne gerichtet, so wird auch die binoculare Blicklinie nahezu horizontal und median liegen; mit welcher Genauigkeit es der Fall ist, wurde nicht untersucht.

Wird nun plötzlich ein seitlich, höher oder tiefer gelegenes fernes Object sichtbar, so gibt dasselbe peripher liegende Netzhautbilder von bestimmtem Höhen- und Breitenwerthe, wodurch zugleich seine scheinbare Lage mehr oder minder genau bestimmt ist. Dadurch, dass sich nun sofort die Aufmerksamkeit, und in Folge dessen wieder die binoculare Blicklinie auf diesen Ort richtet, ändert sich an der bereits erfolgten Localisirung nichts wesentliches.

Analog verhält es sich, wenn das plötzlich erscheinende Object relativ nahe liegt. Da die Gesichtslinien, wie wir annehmen durften, beim Hinausblicken in die Ferne des Dunkelraumes nahezu parallel liegen oder wenigstens nur schwach convergiren, so wird das auftauchende Object Bilder von ungleichseitiger Disparation geben und

---

1 Genauer gesagt im Fühlraume (vergl. S. 523 Anm.).

dementsprechend mehr oder weniger nahe erscheinen. Die auf diesen nähern Ort translocirte Aufmerksamkeit löst nun die Convergenzbewegung aus, und so wird der Blickpunkt unter fortwährender Leitung des Doppelnetzhautbildes an den Ort des wirklichen Objects gebracht.

Im Wesentlichen ist also unter den angeführten Bedingungen die Localisirung des Objects schon auf Grund der Raumwerthe der Netzhautbilder erfolgt, ehe die entsprechende Augenstellung eingetreten ist, und wir können daher nicht die Art der Augenstellung als das Bedingende der annähernd richtigen Localisirung betrachten. Eine andere Frage ist, inwieweit durch die Richtung und Dauer der Verschiebung des Netzhautbildes während der Blickbewegung die Localisirung eine Correctur erfährt und an Richtigkeit gewinnt. Hierüber liessen sich nur Vermuthungen aufstellen, da die Frage noch nicht experimentell untersucht ist.

Das erörterte Beispiel lehrt, dass die Localisirung des fixirten Objects bei secundärer Lage der binocularen Blicklinie und des Blickpunkts im Wesentlichen davon abhängt, dass die Aufmerksamkeit an den ungefähr entsprechenden Ort verlegt werden muss, wenn anders die Augen sich passend einstellen sollen, und das Object einfach und deutlich gesehen worden soll. Jede Lage des Aufmerksamkeitsorts bedingt eine, innerhalb gewisser Grenzen bestimmte Augenstellung, und wo die Aufmerksamkeit ist, da ist auch die Kernstelle des Sehraums und ebenda erscheint also auch das fixirte Object.

Bei einäugigem Sehen ist die Localisirung nach der Dimension der Tiefe eine sehr unbestimmte, falls anderweite Erfahrungsmotive ausgeschlossen sind. Wir sind dann einzig und allein auf das Hülfsmittel der Accommodation angewiesen. Je näher der fixirte Punkt liegt, desto stärker müssen wir accommodiren, um ihn möglichst scharf zu sehen. Während wir dies thun, tritt zwar auch eine ungefähr entsprechende Zunahme der Convergenz der Gesichtslinien ein, aber es fehlt die Möglichkeit, das Sehding gleich von vornherein auf Grund der Disparation der Netzhautbilder zu localisiren, beziehungsweise die Nothwendigkeit, eine ganz bestimmte Convergenz festzuhalten, um das Object einfach zu sehen. Wundt liess durch eine kurze Röhre einen, vor einer einfarbigen fernen Wand aufgehängten Faden von unbekannter Dicke fixiren und seine Entfernung schätzen; auch entfernte oder näherte er den Faden und bestimmte die Grösse der Verschiebung, welche nöthig war, damit der Beobachter die Art der Ortsänderung des Fadens erkenne. Das Ergebniss seiner Versuche fasste er in Folgendem zusammen: die Accom-

modation sagt niemals etwas aus über die absolute Entfernung der Gegenstände, sondern sie giebt nur eine äusserst oberflächliche Kenntniss ihrer relativen Lage, indem sie es möglich macht, das Nähere vom Ferneren zu unterscheiden. Wenn ein und dasselbe Object seine Lage im Raume ändert, so giebt uns die Accommodation für sich nur Aufschluss über eine Art dieser Lageänderung, nämlich über die Annäherung ans Auge; damit aber diese Annäherung wahrnehmbar werde, muss sie eine bestimmte Grösse erreichen, die mit der Entfernung vom Nahpunkte zunimmt; d. h. in jeder Distanz vom Auge existirt eine bestimmte Unterscheidungsgrenze der Annäherung. Diese Unterscheidungsgrenze ist nicht von constanter Grösse, sondern namentlich in hohem Grade dem in längerer Zeit wirksam werdenden Einflusse der Uebung und dem in kürzerer Zeit sich geltend machenden Einflusse der Ermüdung unterworfen.

Wir haben uns im Obigen bemüht, die bis hierher in diesem Capitel besprochenen Thatsachen ohne die Mithülfe irgend welcher Hypothese darzustellen. Aus denselben ergiebt sich unmittelbar, dass die Augenstellung von der Localisirung der Aufmerksamkeit abhängig ist, welche letztere zugleich auch die Localisirung des Kernpunktes und damit den scheinbaren Ort des fixirten Objectes bestimmt. Wir dürfen aber nicht verschweigen, dass diese Auffassung von der Mehrzahl der Autoren nicht getheilt, sondern bis jetzt nur von Hering[1] vertreten wird. Derselbe ist zuerst der früher sehr verbreiteten Ansicht entgegengetreten, nach welcher sich Alles umgekehrt verhalten und die Localisirung des Kernpunktes von der Augenstellung abhängen soll. Man nahm und nimmt zum Theil auch noch einen sogenannten Muskelsinn des Gesichtsorganes an. Der jeweilige Verkürzungsgrad der Augenmuskeln soll hiernach Gefühle oder Empfindungen erzeugen, auf Grund deren die Localisirung des fixirten Punktes erfolgen soll. „Die Feinheit der Muskelempfindungen“, sagte Wundt[2], „geht so weit, dass die Muskeln in dieser Hinsicht unsern schärfsten objectiven Sinnesorganen, dem Gesicht und Gehör, an die Seite gestellt werden können.“

Die oben angeführten, zum grossen Theil längst bekannten Thatsachen lehren aber, dass die Augenstellungen an sich, und also auch die etwaigen Empfindungen derselben ohne merklichen Einfluss auf die Localisirung sind. Man hat daher den Ausweg ergriffen, an die Stelle der Muskelempfindungen sogenannte Innervationsgefühle zu setzen, welche durch die motorische Innervation schon im Centralorgane und nicht erst in der Peripherie erzeugt werden oder die erstere begleiten sollen. Die Thatsachen aber nöthigen nicht zu dieser Annahme, sondern lediglich gewisse theoretische Voraussetzungen, die hier übergangen werden dürfen. Denkt man sich, dass der jeweilige Ort der Aufmerksamkeit

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. § 11. 1861.
2 Wundt, Ztschr. f. rat. Med. (3) XV. S. 143. 1862.

bedingt ist durch einen bestimmten psychophysischen Process, so kann man diesen Process auch zugleich als das physische Moment gelten lassen, welches die entsprechende Innervation der Augenmuskeln auslöst. Es ist von vornherein nicht einzusehen, was durch die hypothetische Einschiebung eines weiteren physischen oder psychischen Vorganges, welcher den Innervationsgefühlen zu entsprechen hätte, irgend gewonnen werden kann. Wir haben deshalb die Darstellung der Thatsachen nicht durch Einführung der hypothetischen Innervationsgefühle compliciren wollen, obwohl dieselben von hervorragenden Forschern angenommen werden.

Dass die Augen bei ihren Bewegungen gewisse Empfindungen erzeugen, welche wir in die Gegend der Orbita localisiren, ist sicher. Macht man eine starke Convergenzbewegung, so hat man eine deutliche Empfindung in der Augenhöhle, schwächere Empfindungen bemerkt man bei jeder nicht allzu kleinen Wendung des Blickes. Die Nerven der Lider, der Conjunctiva und auch der tieferen Theile vermitteln diese Binnenempfindungen des Auges, wie wir sie nennen könnten. Für andere Glieder, insbesondere die Extremitäten ist festgestellt, dass ihre Binnenempfindungen uns die Wahrnehmung ihrer Lage und mittelbar die richtige Localisirung von Tastempfindungen mit ermöglichen helfen, daher man für die Augen das Analoge annehmen zu dürfen glaubte. Hier aber liefert die Art, wie wir bei passiver oder durch unwillkürliche Muskelcontraction erzeugter Verschiebung der Augen localisiren, sofort den Beweis, dass die etwaigen Binnenempfindungen für die Localisirung nicht das Entscheidende sind.

Wenn oben die Translocation der Aufmerksamkeit als das Motiv der Augenbewegung hingestellt wurde, so soll damit nicht gesagt sein, dass wir überhaupt nicht im Stande seien, unsre Aufmerksamkeit wandern zu lassen, ohne dass sofort auch die entsprechenden Augenbewegungen ausgelöst werden. Letzteres gilt zwar für die meisten Menschen, aber durch Uebung kann man es sehr wohl dahin bringen, auch bei festgehaltenem Blick die Aufmerksamkeit wandern zu lassen, und indirect Gesehenes besonders zu beachten. Doch muss man hierbei immer zugleich auf das direct Gesehene merken. Lässt man dieses nur einen Augenblick ausser Acht, so erfolgt sofort eine Augenbewegung, wie man mittels der Nachbilder oder durch Auscultation der Muskelgeräusche des Auges leicht erkennen kann. Es handelt sich also hierbei weniger um eine eigentliche Translocation, als vielmehr um eine grössere, über das gewohnte Maass hinausgehende Ausbreitung der Aufmerksamkeit, wobei immer der Hauptheil derselben dem direct Gesehenen zugewandt bleiben muss. Jedenfalls ist ein längeres indirectes Sehen bei ruhendem Blicke ein erzwungener Zustand. Will man annehmen, dass diejenigen Ortsänderungen der Aufmerksamkeit, welche motorische Folgen haben, sich specifisch von denen unterscheiden, welche bei ruhendem Blicke stattfinden können, so wird dadurch an der Giltigkeit der oben gemachten Erörterungen nichts geändert.

Die Localisirung des übrigen Sehraumes. Ausser der Localisirung des Kernpunktes und der dadurch gegebenen Lage der Hauptsehrichtung kommt die Frage in Betracht, in wieweit wir bei

secundären Lagen der binocularen Blicklinie und des Blickpunktes die übrigen Theile des jeweiligen Sehraums richtig localisiren.

Zunächst hat man hierbei an die verticalen und horizontalen Linien zu denken. Zwischen beiden besteht ein sehr wesentlicher Unterschied insofern, als es nur eine verticale Richtung, dagegen unendlich viele horizontale gibt. Die richtige Localisirung verticaler Linien ist dadurch unvergleichlich begünstigt. Auch scheint es in der That, dass wir bei ungezwungener Haltung des frei beweglichen Kopfes seitlich gelegene verticale Linien ziemlich richtig sehen, wenn wir sie bei horizontaler oder nicht allzustark gehobener oder gesenkter Blickebene betrachten. Es steht dies in Einklang damit, dass, wie oben (S. 495) bemerkt wurde, verticale Linien sich unter solchen Umständen immer ziemlich genau auf dem mittlen Längsschnitte oder wenigstens auf demselben Meridiane abbilden, welcher auch das Bild einer bei Primärstellung fixirten Verticalen empfängt. Dies gilt selbstverständlich dann nicht mehr, wenn der Kopf bei Betrachtung der seitlichen Verticalen fixirt ist. Ausser den verticalen bilden auch die querhorizontalen, also der primären Frontalebene parallelen Linien einen besonderen Fall, weil sie uns häufiger vorkommen als anders gelegene Horizontallinien. Besondere Untersuchungen über die Localisirung fixirter gerader Linien bei zwangloser oder bei fester primärer Kopfhaltung sind nicht angestellt worden. Einige Specialfälle sind in Cap. VII., andere im Folgenden erwähnt.

Die Localisirung verticaler, beziehungsweise horizontaler Linien bei vor- oder zurückgeneigtem Kopfe und seitlichen Blickrichtungen hat Helmholtz untersucht. Es ist aber zu bemerken, dass solche Kopfhaltungen beim gewöhnlichen Sehen nicht benutzt werden.

Zur Untersuchung bei Parallelstellungen spannte Helmholtz[1] über das eine Ende einer cylindrischen Röhre von etwa einem Fuss Länge einen schwarzen Faden als Durchmesser aus, nahm das andre Ende der Röhre vor ein Auge, während das zweite Auge geschlossen war, hielt vor das entferntere Ende der Röhre ein weisses Blatt Papier, so dass er nichts von den Gegenständen des Zimmers sah, und suchte nun den schwarzen Faden durch Drehung der Röhre um ihre Längsaxe möglichst genau horizontal oder vertical zu stellen, und zwar mit parallel gerichteten Gesichtslinien, eine Bedingung, die er auch bei verschlossenem zweiten Auge zu erfüllen gelernt hat. Wenn er dann das weisse Papier von dem anderen Ende der Röhre wegzog, konnte er die Richtung, welche er dem Faden gegeben hatte, mit der Richtung verschiedener objectiver horizontaler und verticaler Linien vergleichen, die sich im Zimmer vorfanden. Er setzte sich bei diesen Versuchen fest auf einen Lehnstuhl und bog den Kopf bald vornüber, bald hintenüber, oder hielt

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 608.

ihn vertical, während die Röhre immer horizontal gehalten, dabei aber bald gerade aus, bald nach rechts, bald nach links gerichtet wurde, so dass sich dabei die Gesichtslinie nach einander in alle möglichen Lagen gegen den Kopf einstellte.

Es zeigte sich, dass in allen diesen Stellungen, soweit das Auge sich ohne fühlbaren Zwang bewegen konnte, die horizontal erscheinende Linie wirklich horizontal war und die vertical scheinende nur um einen solchen Winkel von der wirklich verticalen Richtung abwich, wie der mittle Längsschnitt des betreffenden Auges vom wirklich verticalen Meridian abweicht.

Zu analogen Ergebnissen kam Dastich unter Leitung von Helmholtz.[1] Er betrachtete durch eine Röhre einen entfernten, vor einer gleichfarbigen Wand hängenden Faden, dessen Lage geändert wurde, bis er vertical schien. Doch wurde auch hier die Stellung des geschlossenen Auges nicht besonders controlirt.

Hiernach würde also bei diesen secundären Parallelstellungen die jeweilige Lage der Netzhaut relativ zur Blickebene, insbesondere die Lage des mittlen Längs- und Querschnittes bei der Localisirung der Netzhautbilder sozusagen mit eingerechnet.

Ferner untersuchte Helmholtz[2] auch bei Convergenz und binocularem Sehen. Bei aufrechtem Kopfe sah er einen wirklich verticalen Faden stets vertical, gleichviel ob er geradeaus oder seitwärts blickte.[3] Bei zurückgebeugtem Kopfe musste er das untere Ende des Fadens (innerhalb der durch die binoculare Blicklinie gelegten Verticalebene) etwas heranziehen, bei vorgebeugtem Kopfe aber etwas entfernen, um den Faden vertical zu sehen, und zwar war dies nicht nur bei symmetrischer Convergenz der Fall, sondern auch bei unsymmetrischer. Er kam zu dem Schlusse, dass bei nicht primärer Lage der Blickebene und Convergenz der Gesichtslinien „diejenigen Linien vertical zur Visirebene (Blickebene) erscheinen, welche sich abbilden auf solchen Meridianen des Auges, welche bei der Stellung des Auges parallel der mittleren Sehrichtung (Hauptsehrichtung) wirklich vertical sein würden zur Visirebene.“

Auf Grund aller dieser Ergebnisse möchte Helmholtz dem Gesetze der identischen Sehrichtungen eine etwas andre Fassung geben als Hering. „Man denke sich, sagt er, in der Mitte zwischen beiden Augen ein imaginäres mittleres Cyclopenauge, welches auf den gemeinsamen Fixationspunkt beider Augen gerichtet ist, und dessen Raddrehungen nach demselben Gesetze erfolgen, wie die der beiden wirklichen Augen. Man denke sich die Netzhautbilder aus einem der wirklichen Augen in dieses imaginäre Auge übertragen, so dass Blickpunkt auf Blickpunkt und Netzhauthorizont (mittler Querschnitt) auf Netzhauthorizont fällt. Dann werden die Punkte des Netzhautbildes nach aussen projicirt in den Richtungslinien des imaginären Cyclopenauges.“

Dieser Satz scheint im Widerspruch zu stehen mit den oben ange-

1 Helmholtz, Physiol. Optik S. 611.

2 Derselbe, Physiol. Optik. S. 662.

3 Dies stimmt betreffs der symmetrischen Convergenz nicht überein mit der S. 418 erwähnten Angabe Hering's, welche von Nagel bestätigt wurde. (Nagel, Jahresber. f. Ophthalm. II. Jahrg. f. d. Jahr 1871. S. 120 Anm.)

führten Sätzen über Localisirung bei Bewegung des Blickes. Denn wenn die jeweilige Lage der Netzhaut oder der sogenannte Raddrehungswinkel und also auch eine während der Bewegung des Blickes stattfindende Rollung bei der Localisirung mit eingerechnet würde, so sollte man meinen, dass eine gerade Linie, an welcher der Blick hingleitet, nie die von Helmholtz selbst beschriebene Scheinkrümmung oder Lagenänderung zeigen könne, sondern immer richtig localisirt werden müsse.

Genauigkeit der binocularen Tiefenwahrnehmung. Das Relief und kleine Entfernungsunterschiede werden um so sicherer gesehen, je näher die Objecte dem Längshoropter oder im besonderen Falle dem Punkthoropter liegen. Dass dies für den Punkthoropter gilt, hat zuerst Helmholtz[1] gezeigt. Er knickte einen geraden Draht in seiner Mitte so, dass seine beiden Hälften einen stumpfen Winkel bildeten, der äusserst wenig von einem doppelten rechten (gestreckten) Winkel abwich. Brachte er den Draht in ein solche Lage, dass er nahezu mit der Geraden des Punkthoropters zusammenfiel, so erkannte er die Knickung noch, während sie bei allen anderen Lagen des Drahtes nicht mehr wahrzunehmen war. Ferner ordnete er drei Stecknadelköpfe in einer horizontalen geraden Linie an. Tangirte diese Gerade den Müller'schen Horopterkreis, so konnten kleine Verschiebungen einer der beiden seitlichen Nadeln viel eher erkannt werden, als wenn die Reihe eine andere Lage in der Blickebene hatte. Lag die mittle Nadel median in einer Entfernung von etwa 50 cm., so bedurfte es nur einer Verschiebung der seitlichen Nadel von etwa ein Viertel Millimeter, um noch zu erkennen, dass die Nadelköpfe nicht mehr in einer Geraden lagen. Helmholtz[2] hat auf Grund solcher Versuche die Grösse der kleinsten Disparation der Netzhautbilder berechnet, bei welcher die Verschiebung der einen Nadel eben noch sicher erkannt wurde. Sie entsprach einem Gesichtswinkel von 60½ Winkelsecunden oder 0,0044 mm. Lagenverschiedenheit der Netzhautbilder. Daraus folgt, um mit Helmholtz zu sprechen, „dass die Vergleichung der Netzhautbilder beider Augen zum Zwecke des stereoskopischen Sehens mit derselben Genauigkeit geschieht, mit welcher die kleinsten Abstände von einander von einem und demselben Auge gesehen werden.“

Nach Hering müssen die Nadelköpfe in der horizontalen Horopterlinie selbst liegen, wenn die grösste Unterschiedsempfindlichkeit für kleine Verschiebungen der einen Nadel erreicht werden soll. Bei obigem Versuche war dies jedenfalls sehr angenähert der Fall, weil Helmholtz selbst

1 Helmholtz, Arch. f. Ophthalmologie X. (1) S. 27. 1864. und Physiol. Optik S. 720.
2 Derselbe, Physiol. Optik S. 645.

bemerkt, dass die Nadeln keinen grossen Abstand von einander haben dürfen, wenn der Versuch das beschriebene Resultat haben soll.

Hering[1] hat sich zu zeigen bemüht, dass die Bedeutung, welche Helmholtz dem Punkthoropter zuschrieb, eigentlich der Längshoropterfläche zukommt, dem Punkthoropter aber nur insofern, als derselbe immer ein Theil des Längshoropters oder im besonderen Falle mit diesem identisch ist. Er erklärt diese Bedeutung des Längshoropters für die Tiefenwahrnehmung daraus, dass die Verschiedenheiten der queren Disparation um so genauer wahrgenommen werden, je kleiner die absolute Grösse der Disparation ist.

Für die meisten Menschen fällt beim Fixiren eines nicht zu nahen Punktes der Fussbodenfläche die letztere mit dem Längshoropter zwar nicht genau aber doch annähernd zusammen, woraus sich die ebenfalls zuerst von Helmholtz betonte Thatsache erklärt, dass wir das Relief des Fussbodens besonders genau wahrnehmen.

Helmholtz giebt an, dass für ihn bei Primärstellung der Augen die Fläche des Punkthoropters genau mit der horizontalen Fussbodenfläche zusammenfalle, was andre Beobachter für ihre Augen nicht bestätigen konnten. Uebrigens schreibt Helmholtz dem Horopter noch eine andere Bedeutung zu. Er meint, dass nicht nur das Relief, sondern auch die Lage der Dinge überhaupt dann am richtigsten wahrgenommen werde, wenn letztere im Punkthoropter liegen. Daraus erklärt er z. B., dass die Fussbodenfläche viel ausgedehnter und weiter hingestreckt erscheint, wenn man den Fussboden bei aufrechter Kopfhaltung betrachtet, als wenn man dabei den Kopf seitwärts neigt oder zwischen den gespreizten Beinen durchblickt; denn nur bei aufrechtem Kopfe kann der Fussboden mit dem Punkthoropter annähernd zusammenfallen. Nach Hering aber trägt zur richtigen Localisirung des Fussbodens gerade der Umstand mit bei, dass er nicht genau im Horopter liegt, vielmehr die jenseits des fixirten Punktes befindlichen Theile Bilder von ungekreuzter querer Disparation geben, während die näheren Theile sich mit gekreuzter Disparation abbilden. Der Hauptsache nach aber erklärt er die scheinbare Lage des Fussbodens aus einem Erfahrungsmotiv (vergl. Cap. XIII).

IV. Vergleichung von Grössen und Lagen.

(Augenmaass.)

E. H. Weber[2] hat zuerst den kleinsten Unterschied zu bestimmen versucht, welchen zwei nacheinander betrachtete Linien oder Strecken haben müssen, um eben noch mit Sicherheit als verschieden gross wahrgenommen zu werden. Er fand, dass es dabei

1 Hering, Beiträge zur Physiologie V. S. 354. 1864.
2 Weber, Handwörterb. d. Physiol. von Wagner III. 2. Abth. S. 559.

nicht auf die absolute, sondern auf die relative Längenverschiedenheit ankomme, und dass im günstigsten Falle Linien noch unterschieden wurden, deren Längen sich wie 100 : 101 verhielten. Zur Prüfung des Weber'schen Satzes wurden nachher zahlreiche Versuchsreihen angestellt, aber meistens nicht nach Weber's Methode des ebenmerklichen Unterschieds, sondern theils nach der Methode der richtigen und falschen Fälle, theils nach der Methode der mittlen Fehler.[1] Es ergab sich, besonders aus Chodin's[1] Versuchen, dass der Satz durchaus keine strenge Gültigkeit hat. Dabei fand sich auch, dass die Vergleichung von verticalen Distanzen viel weniger genau ist, als die von horizontalen. Dem entspricht auch die Angabe von Helmholtz[2], dass man bei Hälftung verticaler Strecken grössere Fehler macht, als bei Hälftung horizontaler.

Vergleicht man horizontale Distanzen mit gleich langen verticalen, so erscheinen letztere grösser als erstere. Sucht man eine verticale Strecke einer horizontalen gleich zu machen, so fällt die erstere zu kurz aus. Die hierbei begangenen Fehler sollen nach Wundt[3] bis zu ein Fünftheil der horizontalen Strecke betragen können, nach Chodin je nach der Länge der Linien $\frac{1}{61}$ bis $\frac{1}{9,5}$.

Alle diese Beobachtungen wurden mit bewegtem Blicke angestellt. Man kann bei solchen Versuchen bemerken, dass man nach einander den Blickpunkt bald in die Mitte der einen, bald in die der andern Strecke verlegt, sodass die Strecken, wenn sie parallel oder in derselben Linie liegen, nacheinander auf denselben Netzhautstellen abgebildet werden. Man überträgt also, um einen von Helmholtz gebrauchten Vergleich anzuwenden, die betreffende Netzhautstrecke wie einen Zirkel nacheinander auf die eine und die andere Objectstrecke. Analog verfährt man, um den Parallelismus zweier Linien zu prüfen, indem man den Blick in der Mitte zwischen beiden Linien hingleiten lässt. Die Gleichheit zweier Winkel nimmt man, wie Helmholtz erwähnt, am sichersten wahr, wenn ihre Schenkel parallel liegen, sodass man ihre Bilder nacheinander auf dieselbe Netzhautstelle bringen kann. An diesen Thatsachen zeigt sich auch, dass man diese Vergleichungen von Strecken nicht mit Hülfe etwaiger Muskelempfindungen oder Innervationsgefühle macht, welche uns über die Grösse des vom Blicke zurückgelegten Weges unterrichten

1 Vgl. hierüber Fechner, Psychophysik II. S. 211. 1860 ferner dies. Handb. II. 2. Theil. S. 234, und Chodin, Arch. f. Ophthalmologie XXIII. (1) S. 92. 1877.
2 Helmholtz, Physiol. Optik S. 543.
3 Wundt, Ztschr. f. rat. Med. (3) VII. S. 374. 1859.

könnten, sondern dass die Vergleichung mit Hülfe des Raumsinnes der Netzhaut geschieht, was übrigens nach den oben angeführten Thatsachen schon selbstverständlich ist.

Vergleicht man eine durch Punkte oder Striche getheilte Strecke oder Fläche mit einer gleichgrossen leeren, so sieht man, wie Hering[1] gefunden hat, erstere grösser als letztere. Das einfachste Beispiel hierfür bietet Fig. 57. Von zwei gleichgrossen Winkeln, deren einer

Fig. 57.

in kleinere Winkel getheilt ist, erscheint der letztere grösser. Zwei gleich grosse Quadrate erscheinen verschieden gross, wenn das eine mit einem rechtwinkligen Liniengitter bedeckt ist, und verschieden breit und hoch, wenn das eine durch verticale, das andere durch horizontale Linien getheilt ist, wie dies Fig. 58 zeigt, auf welcher



Fig. 58 (nach Helmholtz).

A und *B* genaue Quadrate sind. Versuchsreihen mit Messung der Grösse der Täuschung siehe bei Kundt[2], Aubert[3], Messer[4].

Da nicht untersucht ist, inwieweit die hier besprochenen Täuschungen sich auch bei ruhendem Blicke, bei Momentanbeleuchtung oder im Nachbilde zeigen, so konnten sie nicht den im II. Cap. erörterten Thatsachen angereiht werden. Ueber verschiedene Erklärungsversuche vergl. Hering, Kundt, Aubert und Helmholtz (ll. cc.).

Mach[5] theilte eine unveränderte horizontale Strecke von 10″ Länge in veränderlichem Verhältniss in zwei Abschnitte und bemühte sich, eine zweite daneben liegende gleichgrosse und ebenfalls horizontale Strecke in demselben Verhältniss zu theilen, und zwar bei binocularem Sehen. Er fand die in folgender Tabelle verzeichneten

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. § 24. 1861.
2 Kundt, Annal. d. Physik u. Chemie CXX. S. 118. 1863.
3 Aubert, Physiol. d. Netzhaut § 119. 1865.
4 Messer, Annal. d. Physik u. Chemie CLVII. S. 172. 1876.
5 Mach, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. XLIII. Jan. 1861.

mittlen variablen Fehler, in welcher x die Länge des linken Abschnittes der getheilten Strecke in Linien, ξ den mittlen variablen Fehler bedeutet (nach Elimination des constanten Fehlers, den Mach nicht mitgetheilt hat).

x	ξ	x	ξ
0,5	0,01	6,0	0,14
1,0	0,04	7,0	0,07
2,0	0,07	8,0	0,06
3,0	0,07	9,0	0,03
4,0	0,13	9,5	0,01
5,0	0,21		

Die grossen Fehler bei $x = 5{,}0''$ rühren nach Mach daher, dass er nicht auf Halbirung achtete, sondern auf Gleichmachen der linkseitigen oder rechtseitigen Hälften der beiden Strecken. Er bediente sich nämlich als theilbarer Strecke eines horizontalen Schlitzes in einem Schirme, hinter welchem ein halb roth, halb grün gefärbter Schieber horizontal verschoben wurde, so dass die Grenzlinie der Farben den Schlitz in veränderlichem Verhältniss in einen rothen und einen grünen Abschnitt theilte.

Mach stellte ferner messende Versuche an über die Genauigkeit bei Vergleichung der Lage zweier Linien von begrenzter Länge, deren eine rechts, die andere links von der Medianebene im ebenen, etwas zum Horizont geneigten Gesichtsfelde lag. Zwei Scheiben, aus deren Mitte ein Faden entsprang, wurden nebeneinander gelegt, der eine Faden in beliebiger Lage befestigt und dann der Faden der anderen Scheibe bei binocularem Sehen möglichst in dieselbe (parallele) Lage gebracht. Als Normallage des Fadens diente die zur Medianebene parallele Lage. Die folgende Tabelle enthält den gefundenen mittlen variablen Fehler ψ. Der Winkel um welchen der erste Faden von der Normallage abwich, ist mit φ bezeichnet.

φ	ψ	φ	ψ
0°	0,2	50°	1,3
10°	0,6	60°	1,4
20°	1,2	70°	1,3
30°	1,1	80°	0,9
40°	1,2	90°	0,3
45°	1,3		

Es ergibt sich also die schon oben (S. 371) zu einer Erklärung beigezogene Thatsache, dass die verticalen und querhorizontalen

Linien am sichersten localisirt werden, Linien von beiläufig 45° Neigung am unsichersten. Hierbei ist zu bedenken, dass wegen der annähernd horizontalen Lage des Gesichtsfeldes der Winkel φ auf der Netzhaut andere Werthe hatte, als im Gesichtsfelde.

V. Das Sehen von Bewegungen.

Wenn sich ein Object in einem Gesichtsraume bewegt, dessen übriger Inhalt ruht, so zieht es unsre Aufmerksamkeit ganz besonders leicht auf sich, und wir pflegen es mit dem Blicke zu begleiten, wenn nicht unsre Aufmerksamkeit anderweit in ungewöhnlicher Weise gefesselt wird. Bilder auf den peripheren Theilen der Netzhaut, die wir sonst nur ausnahmsweise betrachten, drängen sich sofort ins Bewusstsein, wenn sie sich bewegen, und die Bilder kleiner, nicht sehr vom Grunde abstechender Objecte sehen wir mit den äussersten peripheren Theilen der Netzhaut überhaupt nur dann, wenn sie bewegt sind (Purkinje). Jede Aenderung einer Empfindung muss mit einer gewissen Geschwindigkeit stattfinden, wenn sie uns unmittelbar zum Bewusstsein kommen soll. Wie die Helligkeitszunahme eines Leuchtpunkts nur dann als solche empfunden wird, wenn sie schnell genug erfolgt, andernfalls aber zwar nachträglich erschlossen, nicht aber in ihrem Werden selbst gesehen werden kann, so muss auch die Aenderung des Raumwerthes und damit des Ortes einer Empfindung mit einer gewissen Geschwindigkeit erfolgen, wenn wir die Bewegung als solche sehen sollen. Andernfalls können wir zwar nachträglich bemerken, dass das Ding seinen Ort geändert, und daraus erschliessen, dass es sich bewegt hat, aber die Bewegung selbst können wir nicht sehen. Wir müssen daher streng unterscheiden zwischen der blossen Ueberzeugung von der Bewegung eines Dinges und der unmittelbaren Anschauung der Bewegung.[1] Erstere beruht auf Schlüssen, letztere auf dem unmittelbaren sinnlichen Eindrucke.

Will man im Sinne einer von Hering[2] aufgestellten Theorie des optischen Raumsinnes das Localisiren einer Empfindung als ein Empfinden des Ortes bezeichnen und also von Raumgefühlen- oder empfindungen sprechen, wie man von Ton- oder Farbenempfindung spricht, so muss man consequenter Weise auch Bewegungsgefühle- oder empfindungen annehmen, wie dies Exner[3] und Vierordt[4] später gethan haben.[5]

---

1 Czermak, Ideen zu einer Lehre vom Zeitsinn. Molesch. Unters. V.
2 Hering, Beiträge zur Physiologie V. § 124. 1864.
3 Exner, Sitzgsber. d. Wiener Acad. LXXII. 3. Abth. S. 156. 1875.
4 Vierordt, Ztschr. f. Biologie XII. S. 225. 1876.
5 In etwas anderem Sinne hat Mach den Ausdruck Bewegungsempfindung gebraucht. Vergl. Grundlinien d. Lehre v. d. Bewegungsempfindungen 1875.

Bestimmungen der kleinsten Geschwindigkeit, mit welcher die Raumwerthe einer Gesichtsempfindung sich ändern müssen, damit eine Bewegung derselben als solche gesehen oder empfunden werde, liegen nicht vor. Diese Minimalgeschwindigkeit hängt vor Allem davon ab, ob und in welcher Nähe von dem bewegten Dinge oder Punktcomplexe sich unbewegte Punkte oder Linien befinden. Denn man sieht das Wachsen einer Distanz zwischen zwei Punkten oder Linien um so leichter, je kleiner dieselbe unter sonst gleichen Umständen ist. Das langsame Dahinziehen einer Wolke am sonst blauen Himmel sieht man oft erst dann als Bewegung, wenn man ein unbewegtes Object zwischen sich und die Wolke bringt, und ein einziger isolirter leuchtender Punkt im sonst dunklen Raume muss sich viel rascher bewegen, um richtig bewegt gesehen zu werden, als ein Punkt auf einer mit zahlreichen fixen Punkten oder Linien versehenen Fläche.

Anderseits kann man bei zu grosser Geschwindigkeit der Bewegung die letztere wegen der Nachdauer der Erregung nicht sehen. So erscheinen uns die fallenden Regentropfen als Fäden, wenn wir die Augen ruhig halten. Bewegt man aber das Auge rasch in der Richtung des Bewegten, so kann man günstigen Falls das Bewegte und die Bewegung sehen und so z. B. den fallenden Regentropfen gleichsam im Fluge erhaschen.

Wenn nicht ein einzelnes Object, sondern ein grosser Theil der sichtbaren Dinge sich gleichzeitig und in demselben Sinne bewegt, so kann eine Täuschung derart eintreten, dass das Bewegte als ruhend und das Ruhende als bewegt gesehen wird. Betrachten wir z. B. die langsam vor dem Monde vorüberziehenden Wolken, so können wir, wenn wir nicht zugleich etwas feststehendes Irdisches beachten, den Mond als hinter den Wolken bewegt, letztere aber als feststehend sehen. Dazu gehört jedoch eine gewisse Langsamkeit der Bewegung, weil andernfalls die rasche Lageänderung der Wolken in Bezug auf unsern Standort bemerkt und so die Täuschung verhindert wird. Wir ersehen hieraus, dass wenn zwei Empfindungscomplexe des Sehraumes ihre Raumwerthe relativ zu einander ändern, diese Aenderung bisweilen statt auf den bewegten auf den ruhenden bezogen werden kann.

Sehr eindringlich sind derartige Täuschungen, wenn durch unsere eigene passive Bewegung eine Verschiebung fast des ganzen Netzhautbildes erzeugt wird. Betrachten wir, in einem festgeankerten Kahne sitzend, unbewegten Blickes die vorüberziehenden Wellen, so erhalten wir leicht den Eindruck, als ob die Wellen stehende wären

und der Kahn mit uns durch die Wellen zöge; im stehenden Eisenbahnwagen halten wir oft eine vorübergehende Wagenreihe für ruhend, den eigenen Wagen aber für bewegt, und was dergleichen bekannte Beispiele mehr sind. In allen solchen Fällen ändert der grössere Theil des Sehrauminhaltes seinen Raumwerth relativ zum übrigen Theile und ob diese Aenderung als eine Bewegung des einen oder anderen Theiles gesehen wird, hängt von Nebenumständen ab. Es ist bemerkenswerth, dass in solchen Fällen die Täuschung so zwingend sein kann, dass sie gegen unser besseres Wissen eintritt.

Sind zwei isolirte Punkte oder Striche sichtbar, deren einer sich von dem andern entfernt, und befinden sich in der Nähe keinerlei anderweite Merkzeichen, so sieht man meist nicht nur das wirklich bewegte Object in Bewegung, sondern leicht auch das benachbarte unbewegte und zwar dieses in entgegengesetzter Richtung; das sichtbare Wachsen des Abstandes der beiden Objecte wird also auch hier nicht ausschliesslich auf das bewegte Object, sondern zum Theil auf das unbewegte bezogen.

Hierher gehört eine von Helmholtz[1] gemachte Beobachtung. „Man ziehe auf einem Papier eine lange gerade Linie *A*, und bewege eine Spitze, welche man immer fixirt, in Richtung einer zweiten geraden Linie B, welche die erste unter einem sehr kleinen Winkel schneidet. Die zweite gerade Linie braucht nicht gezeichnet zu sein; doch schadet es auch nicht, wenn sie wirklich sichtbar gezogen wird. Wenn man der bewegten Spitze mit dem Blicke folgt, so scheint dabei die gerade Linie *A* auf dem Papier eine Bewegung gegen die Nadelspitze hin oder von ihr weg zu machen, je nachdem sich die Nadel ihr nähert oder von ihr entfernt. Das Bild der Linie A verschiebt sich dabei auf der Netzhaut theils parallel sich selbst, theils in Richtung der Breite. Die erstere Bewegung wird wenig oder gar nicht bemerkt, wenn die Linie lang ist und keine deutlich gezeichneten Merkpunkte besitzt; die zweite Bewegung senkrecht zu ihrer Länge wird dagegen desto deutlicher bemerkt.

„Dabei scheint auch die Richtung der Linie *A* verändert, und zwar so, dass der Winkel, den sie mit der Linie *B* macht, in der sich die Spitze bewegt, vergrössert erscheint. Das letztere erkennt man am besten, wenn man eine gerade Linie *a b* (Fig. 59) zieht, und eine Spitze eines Zirkels so auf das Papier aufsetzt, dass die andere sich in dem Bogen *c d e* hin und herbewegen kann. Wenn man dann dieser beweglichen Spitze mit dem Auge folgt, so scheint

[1] Helmholtz l. c. S. 568.

die Linie *a b* sich abwärts zu bewegen so lange man die Zirkelspitze von *c* nach *d* gehen lässt, aufwärts wenn sie von *d* nach *e* geht. Gleichzeitig erhält die ganze Linie *a b* scheinbar eine Richtung wie *f g*, so lange sich der Blick des Beobachters der Spitze

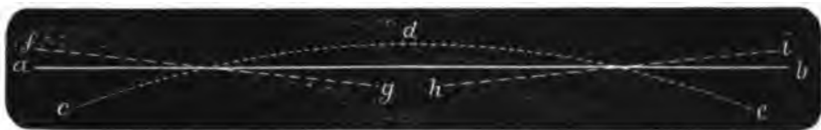


Fig. 59 (nach Helmholtz).

folgend längs *c d* bewegt, und eine Richtung wie *h i*, wenn er sich zwischen *d* und *e* bewegt. Während man bei der Bewegung von *c* nach *e* durch den höchsten Theil des Bogens bei *d* hindurchgeht, verändert die Linie *a b* deutlich ihre Richtung."

Da hiernach, wenn die Blickbahn eine Linie des Gesichtsfeldes schiefwinklig durchkreuzt, der schiefe Winkel falsch gesehen wird, so erklärt Helmholtz hieraus die von ihm gefundene Thatsache, dass die Täuschung, welche das S. 373 abgebildete Zöllner'sche Muster und ähnliche Figuren erzeugen, grösser ist, wenn man sie mit bewegtem Blicke als wenn man sie bei fester Fixirung oder bei Momentanbeleuchtung ansieht. Helmholtz identificirt also die blosse Bewegung des Blickpunktes mit der objectiven Bewegung der Spitze. Ebenso erklärt er die eigenthümliche Unruhe, in welche die Einzeltheile des Zöllner'schen Musters zu gerathen scheinen, wenn man den Blick darüber hinführt. Insoweit aber auch bei ruhendem Blicke schiefe Winkel noch falsch gesehen werden (vgl. S. 373), giebt Helmholtz dafür eine Erklärung, welche ebenso wie die von Zöllner [1] gegebene auf der Annahme einer rein psychischen Contrastwirkung gegründet ist. (Vergl. auch Cap. XIII.)

Wenn sich ein mit Punkten und Linien versehenes Object hinter einem Spalte vorbeibewegt, so dass man immer nur einen Theil des Objectes sieht, so kann man seine Grösse in der Richtung der Bewegung nur aus der Dauer und Geschwindigkeit der sichtbaren Bewegung seiner Einzelpunkte schätzen, wobei grosse Fehler derart begangen werden, dass man jene Grösse bei zu langsamer Bewegung meist überschätzt, bei zu schneller unterschätzt. Zöllner [2] schnitt in etwas steifes dunkles Papier einen Spalt von ungefähr 2 mm. Breite und 40 mm. Länge, zeichnete ferner auf weissem steifen Papier mit breiten und schwarzen Conturen einfache Figuren, z. B. einen Kreis oder ein Quadrat, und schob dieselben dicht hinter dem Spalte und senkrecht zur Richtung desselben schnell hin und her.

---

1 Zöllner, Annal. d. Physik u. Chemie CX. S. 500. 1860 u. CXIV. S. 587. 1861. Ueber die Natur der Kometen. S. 378. Leipzig 1872.
2 Derselbe, Annal. d. Physik u. Chemie CXVII. S. 477. 1862.

Dann sah er ein Zerrbild und zwar bei einer gewissen Grösse der Bewegung eine Verkürzung der Dimensionen in der Richtung der Bewegung, so dass z. B. ein Kreis als Ellipse erschien, deren kleine Axe in der Bewegungsrichtung lag. Die Augen Zöllner's führten dabei, wie ein zweiter Beobachter constatirte, kleine Bewegungen aus. Eine Verzerrung im entgegengesetzten Sinne fand Helmholtz[1] bei Wiederholung des Versuches, wenn der Kreis langsam hinter dem Spalte verschoben wurde, was er daraus erklärt, dass wegen des Falschsehens der schiefen Winkel die Einzeltheile der Kreislinie so gegen den Spalt geneigt erscheinen, wie in Wirklichkeit die Einzeltheile einer querliegenden Ellipse geneigt sein würden. Sorgt man mittels einer Marke an der Grenzlinie des Spaltes für ganz feste Fixirung, so ist die letztere Art der Verzerrung leicht zu beobachten, während die erstere nach Zöllner jetzt nur in einzelnen Fällen noch bemerklich ist. Es beruht dies darauf, dass durch die Geschwindigkeit der Bewegung die Auffassung der Einzeltheile des Bildes erschwert und durch das Nachklingen der Erregung auf der Netzhaut das Bild selbst verwischt wird. Zum Gelingen des Versuchs bei fester Fixirung gehört überhaupt immer, dass man erstens die Richtung der Bewegung des Objectes erkennt, was selbstverständlich ist, wenn man sie selbst mit der Hand hervorbringt, und zweitens, dass die successiv gesehenen Bruchstücke der Figur derart sind, dass sich die ganze Figur daraus reconstruiren lässt. Je grösser z. B. das jeweilig gesehene Bruchstück einer Kreislinie ist, desto leichter ist die Reconstruction. Ist der Spalt zu schmal, so sieht man nur schwarze Punkte in ihm auf- und ablaufen.

Bewegt man umgekehrt den Spalt sehr langsam dicht vor der ruhenden Figur vorüber, während man ersterem mit dem Blicke folgt, so sieht man wieder eine Ellipse, deren grosse Axe in der Richtung der Bewegung liegt. Bewegt man den Spalt rasch auf der ruhenden Figur hin und her, und gelingt es, dem Spalte mit dem Blicke zu folgen, so tritt die entgegengesetzte Verzerrung ein.

Wenn man den Spalt zu rasch bewegt, so dass man mit dem Blicke nicht folgen kann, sieht man den Kreis weniger verzerrt und um so richtiger, je ruhiger das Auge gehalten und je rascher der Spalt bewegt wird, was lediglich eine Folge der Nachdauer der Erregung ist.

Bewegt man endlich den Spalt und die Figur gleichzeitig aber in entgegengesetzter Richtung, so erscheint die Figur in der Richtung

1 Helmholtz l. c. S. 605.

der Bewegungen stark verkürzt, um so mehr, je rascher die Bewegung ist, eine Erscheinung, die zuerst PLATEAU[1] beschrieben und mit Hülfe zweier hintereinander liegenden und in entgegengesetzter Richtung rotirenden Scheiben demonstrirt hat, deren hintere die Figuren trägt, während die vordere einen radial gestellten Spalt hat. Dieser Apparat ist unter dem Namen Anorthoskop bekannt.[2] Die Täuschung lässt sich am besten an folgendem von ZÖLLNER (l. c.) mitgetheilten Schema erläutern.

Es möge sich auf einem Streifen *AB* (Fig. 60) eine Reihe gleichweit abstehender Punkte *a*, *b*, *c*, *d*, *e* befinden. Dicht über diesem Strei-

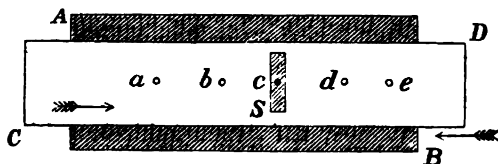


Fig. 60 (nach ZÖLLNER).

fen werde ein andrer Streif *CD* mit einem Spalt in der Richtung der Pfeile hin und her geschoben. Bleibt dabei der Streifen *AB* in Ruhe, so wird man die einzelnen Punkte der Reihe nach erblicken. Ist die Bewegung des Spaltes so schnell, dass die Zeit, welche er gebraucht, um von *a* bis *e* zu gelangen, kleiner ist als die Nachdauer der durch die Momentbilder der Punkte ausgelösten Netzhauterregung, so wird man die Punkte nicht mehr nacheinander, sondern gleichzeitig nebeneinander und in richtigem gegenseitigen Abstande sehen. Anders verhält es sich bei gleichzeitiger Bewegung der Punkte in entgegengesetzter Richtung. Man sieht dann, je nach der Grösse dieser Bewegung, die Punkte näher zusammengerückt, weil diesenfalls der Eindruck ganz derselbe sein muss, wie wenn die Punkte zwar ruhten, aber entsprechend näher aneinander gerückt wären.

Bei dem oben beschriebenen Versuche ZÖLLNER's, bei welchem nur die Figur rasch bewegt wurde, wird, wie HELMHOLTZ[3] meint, die Bewegung des Spaltes einigermaassen ersetzt durch Bewegungen der Augen; „der optische Eindruck ist hierbei derselbe, als ob der Spalt sich in entgegengesetzter Richtung wie das Auge bewegte, also auch entgegengesetzt dem bewegten Bilde", und hieraus ergiebt sich, ganz wie im Anorthoskop, eine scheinbare Verkürzung der Figur.

Wenn man längere Zeit die vorüberziehenden Wellen eines

1 PLATEAU, Annal. d. Physik und Chemie XXXVII. S. 464. 1836.
2 Ueber verschiedene Formen und die Theorie des Anorthoskops vergl. HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 352.
3 HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 605.

Stromes oder das herabstürzende Wasser eines Wasserfalles beobachtet, oder aus einem nicht allzurasch fahrenden Eisenbahnwagen auf die nächst der Bahn liegenden, scheinbar vorüberfliegenden Dinge geblickt hat, und man richtet dann die Augen auf einen ruhenden Gegenstand, z. B. den Weg oder den Boden des Wagens, so sieht man hier eine schwache Bewegung, welche der zuvor gesehenen entgegengesetzt ist. Arretirt man ein Kymographion, nachdem man längere Zeit das Entstehen der Curve beobachtet hat, so scheint die Trommel eine Zeit lang rückwärts zu laufen. Diese von PURKINJE[1] und PLATEAU[2] beschriebene, von OPPEL[3] und DVORAK[4] weiter untersuchte Art der Scheinbewegung kann durch jede beliebige, längere Zeit in gleicher Weise andauernde Bewegung der Netzhautbilder von nicht zu grosser oder kleiner Geschwindigkeit erzeugt werden. Mittels Papierstreifen, welche über Walzen gehen, oder mittels rotirender Scheiben, auf denen zahlreiche Linien oder Punkte angebracht sind, kann man alle möglichen Modificationen der Erscheinung herbeiführen. Um dieselbe ganz rein zu erhalten, hat man für gute Fixirung des Blickes zu sorgen (OPPEL).

Die Scheinbewegung ist immer an der Stelle des Sehfeldes localisirt, an welcher zuvor das bewegte Object erschien, und beruht also auf einer localen Reaction des Sehorganes gegen die vorangegangene Erregung. Fand die Bewegung nur in der einen Hälfte des Sehfeldes statt, so zeigt sich auch nachher die Scheinbewegung nur in dieser Hälfte. War die gesehene Bewegung in einem Theile des Sehfeldes rascher als im anderen, so ist auch die Scheinbewegung im ersteren rascher als im letzteren, war sie in einem Theile des Sehfeldes anders gerichtet als im anderen, so gilt das auch von der Scheinbewegung.

Zeichnet man nach PLATEAU auf eine Scheibe eine vom Centrum ausgehende Spirale und setzt die Scheibe in Rotation, so erhält man bei der einen Richtung der Drehung den Eindruck, als ob die Scheibe mit Kreisen bedeckt sei, welche aus der Mitte entstehend immer grösser werden, um schliesslich an der Peripherie zu verschwinden. Im Netzhautbilde findet dabei eine centrifugale Bewegung der Einzeltheile der Spirale statt. Blickt man nach längerer Fixirung der Scheibenmitte auf eine Druckschrift oder dergl., so sieht man an der entsprechenden Stelle eine centripetale, nach dem Blickpunkte ge-

1 PURKINJE, Medic. Jahrbüch. d. österr. Staates VI. 2. Stück. S. 96. 1820.
2 PLATEAU, Annal. d. Physik u. Chemie LXXX. S. 289. 1850.
3 OPPEL, ebenda XCIX. S. 540. 1856.
4 DVORAK, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. LXI. S. 257. 1870.

richtete Bewegung der Buchstaben; betrachtet man das Gesicht eines Menschen, so scheint dasselbe zusammenzuschrumpfen und sich zu entfernen. Hatte man die Scheibe entgegengesetzt gedreht, wobei die scheinbaren Kreise auf der Scheibe fortwährend schrumpfen und im Centrum verschwinden, so sieht man nachher eine centrifugale Scheinbewegung, und ein betrachtetes Gesicht scheint sich zu vergrössern und näher zu kommen. Legt man, wie Dvorak that, auf eine grosse weisse Scheibe mit einer Spirale eine kleinere concentrische mit einer entgegengesetzt laufenden Spirale, auf diese etwa noch eine dritte, noch kleinere, mit einer der ersten gleichlaufenden Spirale und auf das gemeinschaftliche Centrum aller Scheiben einen kleinen schwarzen Kreis, fixirt während der Drehung fest den letzteren, und sieht nachher auf einen weissen lineirten Schirm, so erscheint auf demselben das dunkle Nachbild der Scheibe in drei theils schrumpfende, theils schwellende Ringe getheilt.

Nach fester Fixirung des Mittelpunktes einer mit radialen Linien versehenen langsam rotirenden Scheibe scheint das nachher betrachtete Object sich in entgegengesetzter Richtung um den fixirten Punkt zu drehen. Betrachtet man nach längerer Fixirung eines bewegten Objectes ein anderes bewegtes, so ergiebt sich nach Kleiner[1] unter Umständen aus der Bewegung des letzteren und der Scheinbewegung eine Bewegung in der Richtung der Resultirenden.

Joh. Müller suchte diese Scheinbewegungen durch die Annahme zu erklären, dass die Nachbilder der bewegten Objecte in derselben Reihenfolge nach einander verschwinden, wie sie entstanden sind.

Merkwürdige Angaben über die scheinbare Bewegung des Nachbildes bewegter Objecte, welches durch nur momentane Betrachtung der Objecte erzeugt war, hat Engelmann[2] gemacht.

Wir haben in diesem Capitel keinerlei Rücksicht genommen auf die Localisirung bei selbständiger activer Bewegung des Kopfes oder des ganzen Körpers. Nur in so weit Kopfbewegungen sich den Augenbewegungen associiren und also durch Blickbewegungen eingeleitet werden, sind sie berücksichtigt worden. Von diesen Bewegungen sind jene zu unterscheiden, welche nicht behufs der Blickbewegung ausgeführt werden, sondern deren Zweck die Locomotion des Kopfes oder des ganzen Körpers ist. Ihr Einfluss auf die optische Localisirung wäre Sache einer besonderen Untersuchung, die vielmehr in die Lehre vom Raumsinn überhaupt als in die Lehre vom Raumsinn des Auges gehört. Nur die Loca-

1 Kleiner, Arch. f. d. ges. Physiol. XVIII. S. 573. 1878.
2 Engelmann, Jenaische Ztschr. f. Med. u. Naturw. III. S. 443. 1867.

lisirung bei vorwärts oder rückwärts geneigtem Kopfe und horizontaler Blickebene wurde besprochen, weil die dabei stattfindende Abweichung der queren Mittelschnitte von der Blickebene die Gesetze der Localisirung in instructiver Weise erläutert.

Ferner wurde hier verzichtet auf die Erörterung der Compensationsbewegungen der Augen, wie sie bei den selbständigen Kopf- und Körperbewegungen eintreten, weil dieselben ohne eingehende Berücksichtigung des Gleichgewichtssinnes nicht besprochen werden können. Nur mit den parallelen Rollungen der Augen bei seitlicher Neigung des Kopfes haben wir deshalb eine Ausnahme gemacht, weil dieselben ein besonderes Licht werfen auf die Function der Augenmuskeln und auf die mechanischen Bedingungen der Augenbewegung nach Listing's Gesetz. Ueber andere Compensationsbewegungen vergleiche insbesondere Breuer[1]; über Localisirung bei ungewöhnlicher Kopfhaltung Aubert[2], Donders[3] und S. 584.

DREIZEHNTES CAPITEL.

Der Einfluss der Erfahrungsmotive auf die Localisirung.

Wir waren bei den bisher beschriebenen Versuchen meist bestrebt, Bedingungen herzustellen, unter welchen das Vorwissen der Lage und Anordnung der gesehenen Dinge und das Localisiren auf Grund der Erfahrung möglichst ausgeschlossen war. Dass der vollständige Ausschluss der Erfahrungsmotive undenkbar ist, wird allgemein anerkannt, und die folgenden Erörterungen werden dies nur bekräftigen können. Wo die Grenze zwischen Angeborenem und Erworbenem liegt, wissen wir nicht. Aber es scheint unzulässig, anzunehmen, dass die räumlichen Eigenschaften der Empfindungen und ihre Localisirung einzig und allein das Product der Erfahrung sind, einerseits weil viele neugeborne Thiere das Gegentheil direct erweisen, und nicht anzunehmen ist, dass der neugeborne Mensch sich in dieser Beziehung anders als nur graduell von den Thieren unterscheide; andrerseits weil Gesichtsempfindungen ohne alle räumliche Eigenschaften etwas Unfassbares sind. Einen Versuch, alles Räumliche der Gesichtsempfindung aus der Erfahrung abzuleiten, hat Helm-

---

1 Breuer, Wiener medicin. Jahrb. I. Heft 1874 und I. Heft 1875.
2 Aubert, Physiol. d. Netzhaut S. 275.
3 Donders bei Mulder, Arch. f. Ophthalmologie XXI. (1) S. 109. 1875.

HOLTZ gemacht, während JOH. MÜLLER die Höhen- und Breitenwerthe der Netzhautstelle als angeboren annahm und HERING diese Annahme auch auf die Tiefenwerthe ausdehnte.[1] Dass mit der Annahme angeborner Raumwerthe nicht gesagt ist, der Neugeborne localisire schon, wie der Erwachsene, bedarf kaum der Erwähnung.

I. Der Einfluss der Erfahrung im Allgemeinen.

Die Physiologie muss annehmen, dass jede Gesichtsempfindung nach Form und Qualität bedingt und getragen ist von einem im Sehorgane stattfindenden ganz besonderen, nur dieser Empfindung entsprechenden materiellen Processe, welcher ihr physisches Correlat ist. Gäbe es Empfindungen (Vorstellungen, Wahrnehmungen), welche kein physisches Correlat haben, so könnten dieselben kein Gegenstand physiologischer Betrachtung sein. Wird jener sogenannte psychophysische Process wie gewöhnlich durch die auf die Netzhaut fallenden Lichtstrahlen ausgelöst, so ist seine Art nicht bloss abhängig von der Art des Reizes, sondern auch von der Beschaffenheit des ganzen nervösen Apparates, welcher dem Sehorgan zugehört, und von dessen jeweiligem allgemeinen und localen Zustande, der sich als Stimmung desselben bezeichnen lässt; daher ein und derselbe Reiz je nach der Beschaffenheit und der Stimmung dieses Apparates sehr verschiedene Empfindungen auslösen kann.

Die Beschaffenheit des Nervenapparates ruht selbstverständlich im Wesentlichen auf angeborner Grundlage; aber die Gesammtheit der im Laufe des Lebens auf ihn theils unter Vermittlung der Augen theils auf andern Wegen einwirkenden Reize ist mitbedingend für seine weitere Entwicklung; oder anders ausgedrückt: die unwillkürliche und die willkürliche Erfahrung und Einübung haben mitbestimmenden Einfluss auf die materielle Beschaffenheit des nervösen Sehorganes und darum auch auf seine Function und insbesondere auf die Art, wie es auf das Netzhautbild als äusseren Reiz reagirt.

Dass Erfahrung und Einübung für das Sehorgan überhaupt möglich sind, beruht auf dem Reproductionsvermögen (Gedächtniss) seiner nervösen Substanz. Jede bestimmte Thätigkeit des Organes macht es zur Wiederholung eben derselben Thätigkeit geeigneter, daher immer leichtere Anstösse genügen, um es zur Reproduction derselben zu veranlassen. Wir können sagen, das Organ gewöhnt sich an be-

---

1 vergl. auch STUMPF, Ueber den physiologischen Ursprung der Raumvorstellung. Leipzig 1873.

stimmte oft wiederholte Thätigkeiten. Auf die Art oder den Inhalt dieser Gewöhnung kann unser Wille einen bestimmenden Einfluss ausüben. Wir vermögen willkürlich aus der Menge der in unser Bewusstsein tretenden Empfindungen einzelne gleichsam heraus zu greifen und festzuhalten, und wir nennen diesen, auf die Auswahl einzelner Empfindungen gerichteten Willen die Aufmerksamkeit. Die durch die Aufmerksamkeit begünstigte Empfindung gräbt gleichsam tiefere Spuren und lässt grössere Geneigtheit zur Reproduction zurück, als die nicht so deutlich und dauernd ins Bewusstsein gebrachte Empfindung. Wir können ferner willkürlich das Auge zur Reproduction gewisser Empfindungen zwingen, indem wir es wieder demselben äusseren Reize aussetzen. Endlich vermögen wir, eine wenn auch schwache und nur bei Einzelnen energischere Reproduction einer gehabten Empfindung nach Form und Qualität ohne Mithülfe des entsprechenden äusseren Reizes absichtlich herbeizuführen; diese nennen wir ein gewolltes Erinnerungsbild. Wenn die Empfindungen, welche dieses Erinnerungsbild zusammensetzen, nur schwache, gleichsam abgeblasste und dämmerhafte sind, bezeichnet man sie gewöhnlich als willkürliche Gesichtsvorstellungen; wenn sie sich aber bis zur vollen Kraft der sonst nur durch den äusseren Reiz aufgelösten Empfindung entwickeln, heissen sie willkürliche Phantasmen oder willkürliche Hallucinationen. Dieselben können mehr oder weniger getreue Reproductionen, oder aber neue Combinationen früher stattgehabter Empfindungscomplexe sein.

Ganz dasselbe, wie die gewollten Erinnerungsbilder, sind dem Wesen wenn auch nicht der Veranlassung nach die unwillkürlich ins Bewusstsein tretenden Erinnerungsbilder. Bestehen sie aus sehr schwachen Empfindungen, so heissen sie unwillkürliche Gesichts-Vorstellungen; sind sie aber aus Empfindungen von derselben Deutlichkeit und Eindringlichkeit zusammengesetzt, welche den durch die Netzhautbilder erzeugten Empfindungen eigen ist, und sind sie nach Form und Qualität getreue Reproductionen früherer, durch Netzhautbilder erweckter Empfindungen, so nennt man sie nach Fechner Bilder des Sinnengedächtnisses; treten sie krankhafter Weise, insbesondere im Delirium auf, so heissen sie, gleichviel ob sie getreue Reproductionen des früher Empfundenen sind oder aus neuen Combinationen früherer Empfindungen bestehen, unwillkürliche Gesichts-Hallucinationen. Treten sie endlich im Schlafe auf, so nennt man sie Traumbilder. Eine scharfe Grenze zwischen diesen, hier in besondere Gruppen gebrachten und

mit besondern Namen bezeichneten Erscheinungen lässt sich nicht ziehen; vielmehr lassen sich allenthalben Uebergänge aufweisen, welche man je nach Belieben der einen oder der andern Gruppe zuweisen kann. Alle haben das Gemeinsame, dass sie aus mehr oder minder schwachen oder lebhaften Empfindungen zusammengesetzt sind, welche entweder nach Form und Anordnung früheren Anschauungsbildern entsprechen, oder neue Gruppirungen einzelner Bestandtheile früherer Anschauungsbilder darstellen.

Die Thatsache, dass überhaupt Reproductionen früherer Empfindungscomplexe ohne das entsprechende Netzhautbild möglich sind, gibt uns den Beweis für die oben aufgestellte Behauptung, dass die Empfindungen oder vielmehr die ihnen entsprechenden psychophysischen Processe Spuren im nervösen Apparat zurücklassen, und dass der letztere durch den Process der Empfindung selbst eine wenn auch noch so geringe nachdauernde Aenderung erleidet, welche sich durch eine erhöhte Disposition zur Wiederholung desselben Processes und somit auch der entsprechenden Empfindung verräth. Den kräftigsten Anreiz zur Wiederholung eines und desselben Processes gibt nun offenbar die Wiederholung desselben Netzhautbildes. Aber das zweite Netzhautbild, welches dem ersten ganz gleich sein kann, bringt jetzt einen Apparat in Thätigkeit, der schon nicht mehr genau derselbe ist, welchen das erste Netzhautbild vorfand; und wäre auch das zweite Mal die durch das Netzhautbild ausgelöste Reaction des Nervenapparats nur äusserst wenig verstärkt, und die Empfindung entsprechend nur um ein sehr Kleines lebhafter, so müssten wir doch zugestehen, dass sie nicht mehr genau dieselbe ist, trotz der Gleichheit der Reize d. h. der Netzhautbilder. Gesetzten Falles nun, die Aufmerksamkeit hat sich beim erstmaligen Auftreten des durch ein bestimmtes Netzhautbild ausgelösten Empfindungscomplexes nur gewissen Theilen desselben vorwiegend zugewandt, so werden bei der Wiederholung desselben diese Theile trotz der Gleichheit des Reizes stärker reproducirt, und wenn sich dies hundertfach wiederholt, so wird die Ungleichheit der Energie, mit welcher die einzelnen Theile jenes Empfindungscomplexes ins Bewusstsein treten, immer grösser werden müssen.

Es ist nun nach dem *jetzigen* Stande unseres Wissens nicht zulässig, zu behaupten, dass beim erstmaligen wie beim letztmaligen Auftreten jenes Netzhautbildes genau dieselben *reinen* Empfindungen ausgelöst würden, dass sie aber das letzte Mal in Folge der Einübung oder Erfahrung etwas anders *ausgelegt*, zu einem etwas andern Anschauungsbilde verarbeitet würden wie das erste Mal. Denn

gegeben ist uns nur einerseits das Netzhautbild und das ist beidenfalls dasselbe, und anderseits der ausgelöste Empfindungscomplex, und der ist beide Male verschieden; von einem Dritten, nämlich einer zwischen Netzhautbild und Anschauungsbild als Wahrnehmung eingeschobenen reinen Empfindung wissen wir nichts. Wir können also, wenn wir jede Hypothese vermeiden wollen, nur sagen, dass der nervöse Apparat auf denselben Reiz das letzte Mal anders reagirt als das erste Mal, und dass dem entsprechend auch der entsprechende Empfindungscomplex verschieden ist.

Ebenso unbewiesen ist die Annahme, dass die sogenannte reine Empfindung in der Netzhaut, das daraus gestaltete Anschauungsbild oder die Gesichtsvorstellung im Gehirn erzeugt werde. Ist die psychophysische Substanz, an deren Veränderungen die bewussten Phänomene des Gesichtssinnes geknüpft sind, auf das Gehirn beschränkt, so kann in der Netzhaut keine Empfindung erzeugt werden, sondern nur ein, unserm Bewusstsein gänzlich entzogener Vorgang in der Nervensubstanz der Netzhaut, der nun seinerseits erst den entsprechenden psychophysischen Process im Gehirn auslöst. Erstreckt sich aber die psychophysische Substanz bis in die Netzhaut hinein, so lässt sich bis jetzt über ihren Antheil an der Herstellung der Empfindung nichts sagen, weil sich mit dem psychophysischen Processe der Netzhaut unausbleiblich der des Gehirnes verbindet, und die Empfindung als das gemeinschaftliche Erzeugniss beider Organe, oder als einheitliches Correlat des auf Netzhaut und Hirn vertheilten Processes ins Bewusstsein tritt und sich nicht in einen der Netzhaut angehörenden und einen dem Hirne zugehörigen Theil auflösen lässt. Dass nach Verlust der Augäpfel noch Gesichtsempfindungen vorkommen, ist erwiesen, dass aber, so lange die Augäpfel da sind, die Netzhaut nicht ein Theil der psychophysischen Substanz des Sehorgans sei, ist nicht erwiesen, wenn auch denkbar.

Aber nicht bloss bei Wiederholungen desselben Netzhautbildes macht sich die mit der Zahl der Wiederholungen gesteigerte Neigung zur Reproduction geltend, sondern auch bei Netzhautbildern, welche den früher oftmals aufgetretenen nur ähnlich sind. Aehnlichkeit besteht in theilweiser Gleichheit. Ein späteres, dem früheren ähnliches Netzhautbild wird also für diejenigen Theile, welche beiden Netzhautbildern gemeinsam sind, gleichsam stärkeren Anklang im Nervenapparat finden, als für die übrigen Theile. Hierauf beruht es, dass die Reproduction meist eine elective ist; denn die stärker anklingenden Theile des Netzhautbildes lösen vergleichsweise kräftigere Empfindungen aus, als die übrigen Theile. Dies kann dazu führen, dass letztere ganz übersehen und für die Anschauung gleichsam eliminirt werden. Ja es können sogar an Stelle dieser durch Election eliminirten Empfindungen ganz andere Empfindungen treten, die dem

äusseren Reize nicht entsprechen. Ein Empfindungscomplex nämlich, für welchen wegen häufiger Wiederholung des entsprechenden Netzhautbildes eine starke Neigung zur Reproduction im Nervenapparate besteht, wird leicht auch dann vollständig reproducirt, wenn nicht das ganze Netzhautbild, sondern nur ein wesentlicher Theil desselben wiederkehrt. Diesenfalls treten also theilweise Empfindungen ein, welchen im Netzhautbilde kein zugehöriger Reiz entspricht, sondern welche ihr Entstehen einzig und allein dem Reproductionsvermögen des Nervenapparats verdanken. Dies ist die ergänzende Reproduction.

So genügen einige wenige Punkte und unzusammenhängende Striche, um uns das Abbild eines menschlichen Gesichts erscheinen zu lassen, und wir bemerken ohne besonders darauf gerichtete Aufmerksamkeit nicht, dass wir dabei Manches sehen, was gar nicht auf dem Papier verzeichnet ist. Durchmustern wir freilich die Zeichnung aufmerksam, so finden wir, dass stellenweise die Umrisse fehlen, die wir anfangs thatsächlich sahen. Dieses wirkliche Sehen von etwas, dem im Netzhautbilde nichts entspricht, das vielmehr eine durch Reproduction entstandene Zuthat unseres Nervenapparates bildet, ist im Wesentlichen dasselbe, was man, wenn es krankhafter Weise sehr stark entwickelt auftritt, als Sinnesillusion bezeichnet.

Es ist dabei nicht zu vergessen, dass es sich hier um eine wirklich sinnliche, d. h. aus deutlichen Empfindungen bestehende Illusion handelt, nicht blos um eine Irrthumsillusion in Folge falschen Urtheils. Wenn ich eine ganz naturgetreu ausgeführte Wachsfigur im ersten Augenblicke für einen wirklichen Menschen halte, so ist dies keine Sinnesillusion, sondern ein Irrthum. Wenn ich aber auf einem Oelgemälde eine kleine menschliche Figur mit mancherlei Einzelheiten sehe, welchen letzteren bei genauerer Musterung in den wenigen Farbenklexen auf der Leinwand zum Theil gar nichts entspricht, so ist das Sehen dieser in Wirklichkeit nicht vorhandenen Einzelheiten eine Sinnesillusion. Da sich in den verschiedensten Netzhautbildern im Grunde immer wieder dieselben Einzelheiten, nur in verschiedener Zusammensetzung und Gruppirung, wiederholen, so sind solche auf ergänzender Reproduction beruhende subjective Zuthaten etwas sehr Gewöhnliches.

Die durch ergänzende Reproduction hinzugekommenen Theile des Empfindungscomplexes beruhen aber ebenso wie dessen übrige Theile, auf einer wenn auch mehr indirecten Reaction des Nervenapparates gegen das Netzhautbild und so lange sie da sind, können wir sie eben auch als Empfindungen bezeichnen, denn sie unterscheiden sich während ihres Bestehens in Nichts von den Empfindungen, welchen im Netzhautbilde ein wirklicher Reiz entspricht. Dagegen ist

Thatsache, dass sie häufig nicht beständig sind, und dass sich viele derselben durch strengere Aufmerksamkeit beseitigen lassen; aber es ist nicht erweislich, dass dies bei allen möglich ist.

Ebenso wie die Qualität der Gesichtsempfindungen wird die Form derselben und ihr Ort im Sehraum von dem Reproductionsvermögen des Nervenapparates mit bestimmt. Beim Sehen mit nur einem Auge, wobei die Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder die Anordnung der Sehdinge nach der Tiefendimension nicht mit bestimmen kann, ist die Vertheilung derselben nach der Tiefe sogar im Wesentlichen allein das Werk dieses Reproductionsvermögens, also die Folge früherer Erfahrungen. Das undeutliche Netzhautbild einer nahe vor den Augen schwebenden Fliege kann im ersten Augenblicke das Bild eines grossen in der Ferne befindlichen Vogels zur Reproduction bringen, während im nächsten Augenblicke schon das Bild einer kleinen Fliege entsteht, weil irgend eine Veränderung des Netzhautbildes oder ein Nebenumstand wie z. B. das Summen der Fliege die entsprechende Reproduction auslösen hilft.

Wenn eine gewisse Art der Localisation eines bestimmten Empfindungscomplexes dem Nervenapparate einmal zur anderen Natur geworden ist, so kann unser besseres Wissen, sowie Urtheil und Schluss meist nichts mehr daran ändern. Wir haben schon oben bei Besprechung der Sehrichtung Beispiele dafür anzuführen gehabt. Es gibt gewisse Manieren, die Gesichtsempfindungen zu localisiren, welche nachweisbar auf Angewöhnung beruhen, weil sie eben nur bei denen sich finden, welchen diese Art der Angewöhnung durch ihren Beruf oder durch eine Anomalie ihres Körpers, z. B. durch Einäugigkeit oder einen schiefen Hals geboten war. Man ist gleichwohl später nicht im Stande an der gewohnten Art der Localisirung, weil sie zu einem Zwange geworden ist, etwas zu ändern, und zwar auch dann nicht, wenn man weiss, dass die Localisirung falsch ist.

In Wirklichkeit verschiedene Dinge können sehr ähnliche, manchmal nahezu gleiche Netzhautbilder geben, z. B. ein nach drei Dimensionen ausgedehnter Gegenstand und sein ebenes perspectivisches Bild. Solchenfalls hängt es oft von kleinen Zufälligkeiten, und insbesondere auch von unserem Willen ab, ob der eine oder der andere Empfindungscomplex ausgelöst wird. Hierbei kann nun wirklich durch Urtheile und Schlüsse bestimmend auf die Art der Empfindung, insbesondere auf ihre Form eingewirkt werden.

Man kann ein Relief vertieft als die entsprechende Matrize sehen und umgekehrt; denn ein von links beleuchtetes Relief kann genau dasselbe Netzhautbild geben, wie seine von rechts beleuchtete Matrize.

Bedenkt man dies aber, so wird man aus der Richtung des einfallenden Lichtes schliessen können, dass man ein Relief vor sich hat und die eintretende Vorstellung des Reliefs lenkt sofort die Thätigkeit des Nervenapparats in die richtige Bahn, das Anschauungsbild des Reliefs wird plötzlich ausgelöst. Oder wir verschaffen uns durch den Tastsinn oder auf irgend welche andere Weise die Ueberzeugung von dem Vorhandensein des Reliefs.

In allen Fällen, wo das Netzhautbild derart ist, dass dem Nervenapparate zwei verschiedene Arten der Reaction sozusagen gleich oder nahezu gleich nahe liegen, muss es von kleinen Zufälligkeiten abhängen, ob die eine oder die andere Art der Reaction wirklich eintritt. Hier kann also auch unser auf anderweitem Wege gewonnenes Wissen entscheidend wirken und der richtigen Anschauung zum Siege verhelfen. Die blosse Vorstellung des Richtigen ist ja selbst schon eine schwache Reproduction, welche nun mit Hülfe des zu ihr passenden Netzhautbildes sich zu deutlicher und lebhafter Empfindung entwickelt.

Besteht aber nicht schon im Nervenapparat selbst eine Disposition zur Erzeugung desjenigen Anschauungsbildes, welches nach unserem Urtheile das der Wirklichkeit entsprechende ist, so kann auch unser besseres Wissen nicht den richtigen Empfindungscomplex heraufbeschwören; wir wissen dann zwar, dass wir etwas der Wirklichkeit nicht Entsprechendes sehen, aber wir sehen es doch.

Das reproductive Vermögen des Sehorganes ist für die, den verschiedenen Stellen des Sehfeldes entsprechenden Einzeltheile desselben sehr verschiedenartig entwickelt. Nicht alle Theile der Sehsubstanz haben so zu sagen dieselbe Ausbildung, sondern der eine ist für Dies, der andere für Jenes besser abgerichtet. Kurz gesagt, das Reproductionsvermögen ist ein localisirtes. Man nehme die wohlgetroffene Photographie eines Menschen, verdecke sie bis auf das Gesicht, so dass ausser letzterem das Kopfhaar und die Kleidung höchstens theilweise sichtbar sind, halte sie verkehrt und zeige sie so seinen besten Freunden: keiner wird das Bild sogleich erkennen, die meisten überhaupt gar nicht. Zur schnellen und sicheren Reproduction eines uns wohlbekannten Gesichtes gehört eben auch, dass wir dieselbe von denjenigen Theilen der Sehsubstanz besorgen lassen, welche dafür besonders erzogen sind. Man betrachte eine Landschaft, indem man mit nach unten gerichtetem Kopfe durch die gespreizten Beine sieht, oder man kehre das Bild der Landschaft, wie HELMHOLTZ that, mittelst eines Reversionsprismas um, mache aber den Versuch nicht, wie HELMHOLTZ, binocular, sondern nur mit einem

Auge, und man wird die Landschaft völlig verändert finden. Alles Ferne scheint näher gerückt, die Ebene scheint nach der Ferne rasch anzusteigen, alle Farben sind energischer und das Ganze gleicht viel mehr einem Gemälde, als dies beim gewöhnlichen Sehen mit einem Auge der Fall ist.

Dass wir überhaupt die auf den oberen Theilen der Netzhaut liegenden Bilder mit Vorliebe näher, die auf den untern befindlichen ferner localisiren, ist wohl ebenfalls nur die Folge der localisirten Gewöhnung.

II. Einfluss der Erfahrungsmotive auf die allgemeinen räumlichen Eigenschaften der Gesichtsempfindungen.

Da die Netzhautbilder flächenhaft sind, hat man sich gewöhnt, anzunehmen, dass auch die Gesichtsempfindungen ursprünglich nur nach zwei Dimensionen localisirt werden und dass erst später die dritte Dimension hinzutrete. Abgesehen davon, dass wir uns eine Fläche ohne den Raum, welchen sie theilt, nicht vorstellen können, und dass also die Vorstellung des nach drei Dimensionen ausgedehnten Raumes die Vorbedingung für die Vorstellung der Fläche ist, liegt auch darin, dass das Netzhautbild flächenhaft ist, keinerlei zureichender Grund für obige Annahme. Dieselbe hat zur weiteren Folge gehabt, dass man auch für den erwachsenen Menschen nur flächenhafte, wenngleich in verschiedener Entfernung liegende Gesichtsempfindungen annahm.

Hering[1] hat dagegen die Ansicht aufgestellt, dass die Gesichtsempfindung von Anfang an eine dreidimensionale oder raumhafte sei. Dem entspricht die Thatsache, dass auch der Erwachsene neben flächenhaften Gesichtsempfindungen fortwährend raumhafte hat. Man muss also betreffs der allgemeinen räumlichen Eigenschaften der Empfindung raumhafte und flächenhafte, sowie bestimmt und unbestimmt begrenzte Empfindungen unterscheiden. Das Dunkel, welches man bei geschlossenem Auge vor sich sieht, ist z. B. eine raumhafte Empfindung; man sieht nicht eine schwarze Fläche, wie eine Wand, vor sich, sondern einen mit Dunkel erfüllten Raum, und selbst wenn es gelingt, diesen Dunkelraum als durch eine schwarze Wand begrenzt zu sehen, so bleibt doch *vor* dieser Wand immer noch ein Dunkles. Ganz dasselbe ist der Fall, wenn man sich offenen Auges in einem absolut dunklen Raume befindet. Diese Dunkelempfindung ist zu-

1 Hering, Beiträge zur Physiologie V. S. 186.

gleich unbestimmt begrenzt. Ein Beispiel für eine bestimmt begrenzte raumhafte Empfindung gibt jede in einem Glase gesehene farbige und klare Flüssigkeit; man sieht das Gelb des Weines nicht bloss an der umschliessenden Fläche des Glases, sondern die gelbe Empfindung füllt das ganze Innere des Glases. Bei Tage sieht man den sogenannten leeren Raum zwischen sich und den Sehdingen ganz anders als bei Nacht. Die zunehmende Dunkelheit legt sich nicht bloss auf die Dinge, sondern auch zwischen uns und die Dinge, um sie endlich ganz zu verdecken und allein den Raum zu füllen. Blicke ich in einen dunklen Kasten, so sehe ich denselben vom Dunkel erfüllt, und dasselbe wird nicht blos als dunkle Farbe der Wände des Kastens gesehen. Eine schattige Ecke in einem sonst hellen Zimmer ist voll von einem Dunklen, welches nicht blos in den Grenzflächen der Ecke, sondern in dem von ihnen begrenzten Raum localisirt ist. Jede Empfindung ist da, wo ich sie habe, und habe ich sie zugleich an allen Punkten eines Raumstückes, so ist sie eben eine raumhafte Empfindung. Ein Würfel von durchsichtigem grünen Glase giebt uns eine raumhafte Empfindung, ein undurchsichtiger grün angestrichener Würfel dagegen nur flächenhafte Empfindungen. Dass die sichtbaren Flächen des letzteren nicht in einer, sondern in verschiedenen Ebenen des Sehraumes erscheinen, ändert nichts an der Thatsache, dass die grünen Empfindungen, aus welchen das Anschauungsbild dieses Würfels besteht, nur flächenhaft sind.

Gesichtsempfindungen, die nicht entweder nach drei oder wenigstens nach zwei Dimensionen ausgedehnt wären, giebt es nicht; der kleinste, leuchtende oder dunkle Fleck und der feinste Strich haben noch mindestens Fläche. Nur die Grenzlinie zweier flächenhaften Empfindungen ist eine lediglich nach einer Dimension ausgedehnte mathematische Linie, und nur der Punkt, wo zwei solche Grenzlinien zusammenstossen oder sich durchschneiden, ist ohne jede Ausdehnung.

Bedeckt man einen innen geschwärzten, oben offenen Kasten mit einem weissen Carton, in welchen man ein mit zackigen Rändern versehenes Loch geschnitten hat, so sind zwei Fälle möglich: entweder man sieht ein Loch im Carton und hinter der Ebene des Loches einen dunklen Raum, oder man sieht auf dem weissen Carton einen schwarzen Fleck von der Form des Loches. Beidenfalls ist die Empfindung ganz verschieden. Im ersten Falle nämlich ist die Empfindung des Dunkels eine raumhafte, nach der Tiefe ausgebreitete, im andern Falle ist die Empfindung des Schwarzen eine flächenhafte; das Dunkel ist dann gleichsam in eine Fläche zusammengedrängt und erscheint als Flächenfarbe. Der Unterschied ist, wenn der Ver-

auch gelingt, ein ganz auffallender. Ausserdem sieht man erstenfalls die Zacken des Randes als vorspringende Theile des weissen Cartons, letzternfalls als vorspringende Theile des schwarzen Fleckes. Da das Netzhautbild beidenfalls genau dasselbe ist, so beruht hier die räumliche Verschiedenheit der ausgelösten Empfindungen lediglich darauf, dass einmal die eine, ein andermal die andere Reproduction die Form der Empfindungen bestimmt.

Lassen wir auf eine Papierfläche einen kleinen begrenzten Schatten fallen, so sehen wir denselben als ein Dunkles **auf** dem Papiere, aber nicht als graue Farbe; wir sagen dementsprechend: der Schatten liegt auf dem Papiere. Ganz anders erscheint uns ein graugefärbter Fleck; wir sagen dann, das Papier ist an dieser Stelle grau. Die Art, Stärke und Vertheilung des objectiven Lichtes können in beiden Fällen genau dieselben sein, es kommt nur darauf an, ob die Nebenumstände die eine oder andere Art der Reproduction begünstigen. Man kann den begrenzten Schatten leicht als graue Farbe des Papiers sehen, wenn man ihn mit einem dicken schwarzen Striche umgiebt, welcher das, was für den Schatten charakteristisch ist, nämlich seine zarten Uebergänge in das Weiss des Papiers, vollständig verdeckt. Dann sieht man in frappanter Weise das Papier grau gefärbt. Dass dabei der Contrast nicht das Wesentliche ist, zeigt sich sofort, wenn man den schattenwerfenden Körper ein wenig bewegt, so dass seine Ränder über den schwarzen Strich hinausfallen; dann schwindet sofort die graue Farbe und man sieht wieder den Schatten. Ganz analoge Versuche kann man in noch überraschenderer Weise mit kleinen Stücken farbigen Glases machen, welche farbige Schatten werfen. Anfangs sieht man ein farbiges Dunkel auf dem Papiere, nach der Umrandung mit dem schwarzen Strich aber ein Stück farbiges Papier.

Begrenzte Lichter, die auf beschattete oder dunkelfarbige Flächen fallen, werden von uns im ersten Augenblicke oft für weissliche Flecken gehalten; ebenso erscheinen uns farbige Lichter, welche durch kleine farbig verglaste Oeffnungen auf den Fussboden oder die Wand eines mässig erleuchteten Raumes geworfen werden, bisweilen als farbige Flecke. Alle diese Täuschungen kann man künstlich und besonders durch die beschriebene Umrandung in viel zwingenderer Weise herbeiführen.

Solche Lichter und Schatten haben also das Eigenthümliche, dass sie als etwas der Fläche Aufliegendes gesehen werden. Es tritt hier eine Art Spaltung der Empfindung ein. Gesetzt die Schatten oder Lichter fallen auf farbiges Papier, so sehen wir das Papier farbig

und darauf oder davor ein Dunkles oder Helles. Oder es liegt ein blaues Licht auf einer weissen Fläche, so sehen wir ein Weissliches hinter einem aufliegenden blauen Hellen. Sobald aber die, den wirklichen Schatten oder Lichtern entsprechende Empfindung ganz in die Oberfläche des Papiers zusammengedrängt wird, erscheint sie als Flächenfarbe.

In grösserem Maasstabe wiederholen sich die hier erörterten Erscheinungen, wenn in einem sonst hellen Zimmer auf einen Theil der Dinge directes Sonnenlicht fällt, oder die durch die Wolken brechende Sonne einzelne Stellen einer Landschaft heller beleuchtet; ebenso wenn einzelne Theile eines hellen Zimmers beschattet sind oder über eine sonnige Landschaft der begrenzte Schatten einer Wolke zieht. Denn die besonnten Stellen, welche uns mehr, oder die beschatteten Stellen, welche uns weniger Licht ins Auge senden, als durchschnittlich alles Uebrige, sehen wir dann nicht etwa als hellfarbige oder dunkelfarbige Dinge, sondern wir sehen das Licht und den Schatten auf und vor den Dingen liegen und dahinter die farbigen Flächen, deren Farbenton wir durch das Licht oder Schattige hindurch sehen.

Wird etwas heller empfunden als die reinweissen Dinge bei derselben Beleuchtung, und kann den gegebenen Umständen nach die grössere Helle nicht als ein aufgeworfenes Licht aufgefasst werden, so sehen wir es leuchtend oder glänzend. Flammen und glühende Körper leuchten. Die leuchtende Empfindung hat ebenfalls etwas Raumhaftes im Vergleich zu den streng flächenhaften Körperfarben. Ein glühendes Eisen wird durch und durch leuchtend gesehen, ebenso eine Flamme. Bringen wir rothglühendes Eisen an die Sonne, so kann es unter Umständen als ein Körper mit rother Oberflächenfarbe erscheinen; dies ist unmöglich, wenn es heller ist, als die hellste Oberflächenfarbe der umliegenden Dinge. Dagegen kann umgekehrt ein glühendes Eisen als selbstleuchtend gesehen werden, wenngleich es nicht heller ist, als eine reine weisse Oberflächenfarbe bei derselben Beleuchtung; dann ist aber die Empfindung raumhaft und das Roth des Eisens wird nicht blos an seiner Oberfläche als Flächenfarbe gesehen, sondern es erstreckt sich in die Tiefe desselben.

Den leuchtenden Körpern stehen am nächsten die metallisch- und die seidenglänzenden. Auch hier handelt es sich um Empfindungen, die heller sind als reinweisse Körperfarbe. Auf einer ganz gleichmässig metallisch- oder seidenglänzenden Fläche sehen wir nicht blos Flächenfarbe, sondern zugleich Licht als solches. Gleichmässig ausgebreiteter Glanz ist übrigens bei spiegelnden Me-

tallflächen selten, dagegen bei sogenannten mattglänzenden ganz gewöhnlich.

Von dem Glanze, welcher lediglich auf der grossen Helligkeit der Empfindung beruht und welcher ebenso den selbstleuchtenden Dingen zukommt, als denen, welche sehr intensives zerstreutes Licht zurückwerfen, ist der Glanz zu unterscheiden, welcher sich an unregelmässig oder unvollkommen spiegelnden Flächen zeigt. Bei der ersten Art des Glanzes handelt es sich, wenn sie sich ausschliesslich geltend macht, immer nur darum, dass auf einer Fläche oder in einem Körper gleichsam ein Ueberschuss von Licht gesehen wird, der als ein Helles für sich und daher nicht als Körperfarbe aufgefasst wird; bei der letzteren Art des Glanzes kommt es darauf an, dass die durch unvollkommene Spiegelung entstehenden farbigen oder farblosen Lichter oder Dunkelheiten als von der Oberflächenfarbe gesondert gesehen werden. Auf einer glänzenden Fläche wechseln dunkle und lichte Stellen mannigfaltig ab, wie dies auch auf einer nicht glänzenden Fläche der Fall sein kann. Soll sich Glanz zeigen, so muss eine Spaltung der Empfindung eintreten, bei welcher ein Theil der Empfindung in die Fläche als deren wesentliche Farbe, andere Theile aber als zufälliges auf oder vor der Fläche liegendes oder aus der Tiefe des Körpers kommendes Licht oder Dunkel gesehen werden.

Die Sonderung der wesentlichen Farbe vom zufälligen Licht oder Dunkel wird ausserordentlich durch jede Bewegung des glänzenden Gegenstandes oder, wie gewöhnlich, durch Bewegungen unsers Körpers begünstigt, denn die lichten und dunklen Stellen ändern dabei ihren Platz und verschieben sich entweder auf der Fläche oder werden hinter oder vor derselben localisirt. Durch das Binocularsehen und insbesondere auch durch Aenderung des Convergenzwinkels der Gesichtslinien wird jene Sonderung ebenfalls sehr erleichtert. Erstens nämlich erfährt die eine Netzhaut an vielen Stellen eine ganz andere Lichtwirkung als die correspondirende Stelle der andern, so dass hier schon von vornherein durch den Wettstreit zwei Empfindungen gegeben sind und nicht erst gleichsam durch Spaltung erzeugt zu werden brauchen. Zweitens haben die unvollkommenen und nicht als eigentliche Spiegelbilder erkennbaren Reflexbilder je nach der Form der Fläche ihren optischen Ort hinter oder vor der Fläche und werden auf Grund der Disparation ihrer Netzhautbilder und der Convergenzänderungen entsprechend localisirt, so dass hier eine räumliche Sonderung des als Körperfarbe gesehenen Theils der Empfindung von dem zufälligen Licht und Dunkel noch viel handgreiflicher ist, als in andern Fällen. Starke Contraste begünstigen sehr die Ent-

stehung des Glanzes, weil sie die hellen Stellen noch heller machen und oft über die Helligkeit der hellsten Körperfarben hinausrücken; aber eine unerlässliche Bedingung bilden solche Contraste nicht.

Die Maler imitiren das Leuchten und den Glanz dadurch, dass sie starke Lichter auf eine im Uebrigen dunkel gehaltene Umgebung aufsetzen. Auch sonst lässt sich insbesondere der Glanz leicht experimentell auf nicht glänzenden Flächen herstellen. Man berusse z. B. eine grosse Glasplatte, lege sie auf eine weisse Unterlage und erzeuge auf ihr durch entsprechende Entfernung des Russes so gut als möglich das Bild eines glänzenden Gegenstandes, oder stelle dasselbe als Negativ mit schwarzer Tusche her. Dieses Bild wird zunächst nicht glänzen. Wenn man aber die Glasplatte als Fenster für einen kleinen Dunkelraum benutzt, hinter die Platte in passender Entfernung ein Licht stellt und die durchfallenden Strahlen auf einer weissen Fläche auffängt, so kann man auf derselben ein glänzendes Bild des Gegenstandes erhalten.

Man stelle eine unbelegte Spiegelplatte senkrecht auf den Tisch, lege hinter dieselbe ein Stück weisses oder farbiges Papier, und vor dieselbe ein kleines Stück andersfarbiges Papier; wenn nun das Spiegelbild des vordern Papiers nicht genau in die Fläche des hintern Papiers fällt, insbesondere wenn man die Spiegelplatte etwas bewegt, so erscheint die eine Fläche glänzend, weil eine Spaltung der Empfindung derart eintritt, dass dieselbe theils in einer nähern, theils in einer fernern Fläche gesehen wird. Es ist, als wäre die jeweilige fernere Fläche durch eine Spiegelung seitens der näheren sichtbar geworden. Diese Methode, Glanz zu erzeugen, die auch bei einäugigem Sehen zum Ziele führt, ist von Wundt angegeben worden. Dove fand, dass wenn zwei an entsprechenden Stellen verschiedenfarbige oder verschieden helle Zeichnungen, wie z. B. Fig. 29 (S. 429) unter das Stereoskop gelegt werden, die Flächen der stereoskopischen Figur zu glänzen scheinen. Schwarz und Weiss geben dabei einen Glanz wie Graphit. Ueberhaupt tritt bei jedem Wettstreit der Sehfelder sehr leicht Glanz auf, weil eine wesentliche Bedingung desselben, nämlich die Spaltung der Gesammtempfindung in zwei Theile hier von vornherein gegeben ist (vergl. das folg. Cap.).[1]

[1] Die ziemlich umfangreiche Literatur über den Glanz siehe bei Helmholtz, Physiol. Optik S. 794.

III. Einfluss der Erfahrung auf Gestalt und Ort der Empfindungen.

Befinden sich die gesehenen Aussendinge in grosser Entfernung, so entwerfen sie auf beiden, als eben oder sphärisch gedachten Netzhäuten geometrisch congruente Bilder, welche, wenn Parallelismus der Mittelschnitte und keine Netzhautincongruenz bestände, zugleich durchaus correspondirend liegen würden. Bei Netzhautincongruenz ergibt sich zwar eine geringe quere Disparation für die Bilder fast aller Punkte, aber dieselbe ist derart, dass sie nur auf die Neigung derjenigen Ebene (oder vielleicht schwach gekrümmten Fläche) Einfluss nehmen könnte, in welcher auf Grund der Raumwerthe der Netzhautstellen alle fernen Objecte erscheinen würden, wenn keinerlei anderweitige Motive die Localisirung nach der Tiefe mit bestimmten. Derartige Motive ergeben sich aber sehr zahlreich aus der Erfahrung, und durch sie geschieht es, dass wir auch die fernen Aussenpunkte in verschiedener Entfernung sehen, wie es ihrer wirklichen Vertheilung im Raume einigermassen entspricht. Dieselben Motive helfen auch beim binocularen Nahesehen sehr wesentlich mit zur richtigen Localisirung und bestimmen dieselbe beim einäugigen Sehen fast ausschliesslich.

Die Linearperspective. Die scheinbaren Veränderungen der Gestalt und gegenseitigen Lage der Objecte, welche aus der Art ihrer Projection auf die Netzhautfläche resultiren, sind uns nach vielfacher Erfahrung bekannt, und so wird es möglich, dass sehr verschieden gestaltete Netzhautbilder eines und desselben Objectes das mehr oder weniger deutlich in unserer Erinnerung liegende Bild seiner wirklichen Gestalt zur Reproduction bringen. Dabei gilt im Allgemeinen die Regel, dass die einzelnen Punkte des Sehdinges auf den durch das Netzhautbild ihnen angewiesenen Sehrichtungslinien bleiben und nur die Entfernung, in welcher sie auf diesen Linien des Sehraumes erscheinen, durch die Reproduction des Erinnerungsbildes bestimmt wird. Parallele horizontale Linien, welche, wie z. B. die Eisenbahnschienen, weit vor uns hinauslaufen, und deren Netzhautbilder sehr stark convergiren, scheinen uns, wenn wir ihren fernsten Punkt fixiren, zwar auch zu convergiren, aber doch nur sehr allmählich; entsprechend dieser Convergenz sehen wir ihr fernes Ende etwas höher als das nähere. Analog verhält es sich mit allen anderen perspectivischen Verkürzungen.

Wir orientiren uns hauptsächlich auf Grund der horizontalen und verticalen Linien des Aussenraumes und der rechten Winkel, welche

von beiden eingeschlossen werden. Diese Winkel bilden sich aber auf den Netzhäuten meist als stumpfe oder spitze ab, wobei der verticale Schenkel, wenn er fixirt wird, immer annähernd auf denselben Meridian der Netzhaut zu liegen kommt. Solche schiefwinklige Netzhautbilder reproduciren uns besonders leicht das Erinnerungsbild eines rechten Winkels. Dies hat zur Folge, dass der nicht verticale Schenkel des Winkels innerhalb der ihm zukommenden Sehrichtungsebene eine seiner wirklichen Lage wenigstens annähernd entsprechende scheinbare Lage annimmt. Die Neigung zum derartigen Sehen eines schiefen Winkels ist so stark, dass sie auch da sich geltend macht, wo sie der Wirklichkeit nicht entspricht. Betrachten wir einäugig oder mit fester binocularer Fixation den Mittelpunkt des Kreuzes *a* in Fig. 61, so scheint uns meist der schiefe Schenkel aus der Ebene des Papieres im einen oder andern Sinne verschoben; etwas minder stark ist diese Verschiebung beim Kreuze *b*, am schwächsten bei *c*, weil hier kein Schenkel des Kreuzes vertical oder horizontal ist. Fertigt man solche Kreuze aus feinem Draht und hält sie parallel zur Frontalebene gegen einen gleichfarbigen Hintergrund, so ist die Täuschung eine noch stärkere, weil ihr nicht das Anschauungsbild eines ebenen Papieres entgegenwirkt.



Fig. 61.

v. Recklinghausen[1], der zuerst den Einfluss der Linearperspective auf die Tiefenwahrnehmung etwas eingehender erörterte, führt folgendes Beispiel an: „Bewegt man eine, an einer in der Medianebene des Körpers befindlichen Geraden befestigte zweite Gerade um den Befestigungspunkt in der Ebene beider, so kann man, besonders bei der Betrachtung mit einem Auge, durch diese successive Veränderung der Winkel die bewegte Linie in schräger Richtung durch die Ebene hindurchwandern lassen.“


Fig. 62.

Zeichnet man die Figur 62 auf Glas, oder fertigt sie aus Draht an und stellt sie parallel zur Frontalebene, so treten leicht beide Leitern aus ihrer wirklichen Ebene scheinbar heraus; die eine scheint mit dem obern Ende nach vorwärts oder

1 v. Recklinghausen, Arch. f. Ophthalmologie V. (2) S. 164. 1859.

rückwärts, die andere meist entgegengesetzt geneigt.[1] Zeichnet man die Leitern mit sehr dicken Strichen vergrössert auf eine ebene Fläche und erzeugt sich von ihnen ein gutes und vollständiges Nachbild, so sieht man dasselbe.

Die Figur ist ein Theil des früher erwähnten Zöllner'schen Musters, und Volkmann[2] war deshalb der Ansicht, dass die Täuschung bei diesem Muster ihren Grund darin hat, dass wir die Zeichnung der Leitern perspectivisch auslegen, so dass sie nicht mehr parallel erscheinen. Will man das früher erörterte Falschsehen schiefer Winkel und die daraus resultirenden Täuschungen aus diesem Gesichtspunkte erklären, so muss man sagen, dass die durch perspectivische Auslegung entstandene Gewohnheit des Grössersehens der spitzen und des Kleinersehens der stumpfen Winkel so grosse Macht habe, dass sie selbst dann zur Geltung komme, wenn die schiefen Winkel in der Ebene gesehen werden, in welcher sie sich wirklich befinden.

Einfache perspectivische Linearzeichnungen gestatten oft eine doppelte Auslegung, wie dies schon die eben erwähnten Beispiele lehrten und wie es auch Figur 63 zeigt (Necker[3]), in welcher uns bald die eine, bald die andre Ecke vorn zu liegen scheint. Es hängt theils von der Willkür, theils von der mehr oder minder grossen Wahrscheinlichkeit, oft auch von unberechenbaren Zufälligkeiten ab, welche Art des Sehens eintritt. Aus demselben Grunde ist es oft schwer, die wirkliche Stellung einer entfernten Wetterfahne zu erkennen, die sich schiefwinklig zur Stange auf unserer Netzhaut projicirt hat.

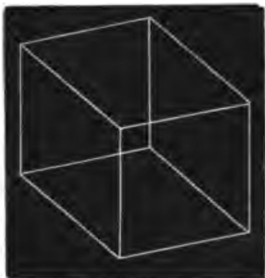


Fig. 63.

Eine ferne Windmühle, deren Flügelebene stark zur Frontalebene unseres Kopfes geneigt ist, sieht man in der Dämmerung bald nach der einen bald nach der andern Richtung sich drehen, je nachdem man die jeweilig näheren Flügel auch als die näheren sieht, oder der Täuschung verfällt, dass sie die ferneren sind (Sinsteden[4]). Man kann diese Täuschung mit einem aus Drähten gebildeten und um seinen Mittelpunkt gedrehten Stern leicht herbeiführen, wenn man denselben einäugig und halb von der Seite betrachtet. Bei Illuminationen sieht man zuweilen rotirende mit kleinen Gasflämmchen besetzte Raumspiralen, welche aus der Ferne be-

1 Hering, Beiträge zur Physiologie I. S. 79. 1861.
2 Volkmann, Physiol. Untersuch. im Gebiete d. Optik I. S. 163. 1863.
3 Necker, Annal. d. Physik u. Chemie XXVII. S. 502.
4 Sinsteden, ebenda CXI. S. 336. 1860.

trachtet sich bald in der einen bald in der andern Richtung zu drehen scheinen.

Bei solchen Täuschungen zeigt sich übrigens die merkwürdige Thatsache, dass wenn man längere Zeit die Bewegung in der einen Richtung gesehen hat, sie sich zwangsweise umkehrt, auch wenn man sich bemüht, die richtige Auslegung festzuhalten, und dass der Wechsel zwischen der einen und andern Richtung der scheinbaren Bewegung mit der Zeit immer häufiger wird.

Die Vertheilung von Licht und Schatten ist ein weiteres wichtiges Hülfsmittel für die richtige Localisirung. Wir sehen, wie oben erörtert wurde, den Schatten nicht als etwas der Fläche Inhärentes, sondern gleichsam gesondert auf der Fläche. Je nachdem er hier und dort sozusagen dünner oder dicker aufgelegt ist, lässt er die Einzeltheile eines Reliefs vor- und zurücktreten. In so weit er sich als Schlagschatten zeigt, giebt er Aufschluss über das Lagenverhältniss des beschatteten zum schattenwerfenden Gegenstande.

Es wurde schon oben eine Täuschung erwähnt, derzufolge wir bisweilen Erhabenes vertieft oder Vertieftes erhaben sehen. Bringt man in einer dem Beobachter nicht auffälligen Weise einen Schirm zwischen eine Matrize und die Lichtquelle und beleuchtet die erstere durch einen Spiegel von der entgegengesetzten Seite, so sieht der Unbefangene die Matrize meist zuerst als Patrize. Oppel[1] nannte eine derartige Vorrichtung Anaglyptoskop. Die Schrift jedes Petschaftes lässt sich auch ohne solche Hülfsmittel erhaben sehen oder „invertiren“, wenn man sich das Erinnerungsbild der erhabenen Schrift zu reproduciren sucht. Gypsformen aber von menschlichen Gliedern, welche wir nicht in der Hohlform zu sehen gewöhnt sind, invertiren sich bei einäugigem Sehen ganz von selbst (Schröder[2]).

Den Einfluss der Luftperspective hat besonders Helmholtz[3] erörtert. Die farbigen Töne, welche vor den entfernten Theilen einer Landschaft liegen, dienen uns, soweit wir sie nicht als Flächenfarbe sehen, als Hülfsmittel zu einer der Wirklichkeit besser entsprechenden Localisirung der entfernten Dinge. Die fernen Berge erscheinen bläulich, wir localisiren aber das Blau nicht in die Oberfläche der Berge, sondern sehen es vor denselben im Raume und durch dasselbe hindurch die grünlichen Berge. Wird das Blau zu stark, so legt es sich zugleich deutlich als Farbe auf die Berge selbst.

1 Oppel, Annal. d. Physik u. Chemie XCIX. S. 466. 1855.
2 Schröder, ebenda CV. S. 298. 1858.
3 Helmholtz, Physiol. Optik S. 629 u. 724.

Helmholtz hat die Lebhaftigkeit betont, mit welcher wir die sogenannten Lufttöne der Landschaft sehen, wenn ihr Bild anders als gewöhnlich auf der Netzhaut liegt. Die farbige Empfindung drängt sich dann, weil uns, wie oben erörtert wurde, die ganze Landschaft mehr flach wie ein Bild erscheint, als Farbe in die Oberfläche der Dinge zusammen und wird nicht mehr vor dieselbe als blosses farbiges Licht localisirt.

Der Nebel wirkt ähnlich wie die Luftperspective. Man sieht den Nebel raumhaft und durch ihn hindurch die Dinge in grösserer Ferne und deshalb grösser. Die Grösse eines uns im Nebel begegnenden Menschen wird anfangs oft bedeutend überschätzt.

Die Trübung der Luft also, sei es, dass sie sich nur durch die sogenannten Lufttöne oder durch wirklichen Nebel verräth, lässt uns die Dinge ferner und grösser erscheinen, und zwar wohl hauptsächlich deshalb, weil wir weniger Einzelheiten an ihnen erkennen als bei klarer Luft. Denn erstens wird eine mit vielen sichtbaren Einzelheiten bedeckte Fläche überhaupt grösser gesehen, wie schon S. 554 gezeigt wurde, zweitens aber wissen wir aus Erfahrung, dass ein und dasselbe Ding um so weniger von seinem Detail erkennen lässt, je weiter es entfernt ist. Die Bewohner der Ebene sehen im Gebirge die fernen Dinge meist zu nahe, weil die Klarheit der Luft die Dinge mehr in ihrer wesentlichen Farbe zeigt und mehr Einzelheiten an denselben wahrnehmen lässt, als die dunstige Luft der Ebene.[1]

Dinge, deren Sehgrösse durch die Erfahrung gegeben ist, localisiren wir auf Grund derselben um so entfernter, je kleiner das von ihnen entworfene Netzhautbild ist. Ist uns umgekehrt die Sehferne eines seiner Grösse nach unbekannten Dinges aus anderweiten Motiven gegeben, so sehen wir es um so grösser, je grösser diese Sehferne ist.

Zahlreiche Anhaltspunkte für die Unterscheidung des Näheren vom Ferneren liefert die partielle Deckung der fernen Dinge durch die näheren, ebenso die Bewegung der Objecte und insbesondere die Bewegung unseres Kopfes oder Körpers, bei welcher sich die Netzhautbilder und die Sehdinge in einer ganz gesetzmässigen, vom gegenseitigen Tiefenabstande der Objecte abhängigen Weise gegen einander verschieben. Fixiren wir ein nahes Object und bewegen den Kopf seitwärts, so zeigen die fernen Dinge eine Bewegung in demselben Sinne, fixiren wir ein fernes, so bewegen

1 Ueber die verschiedene Sehgrösse des Mondes und der Sonne, je nachdem sie am hohen Himmel oder über dem Horizonte stehen, und über die scheinbare Form des Himmelsgewölbes vergl. insbesondere Helmholtz, Physiol. Optik S. 630.

sich die näheren in entgegengesetztem Sinne als wie der Kopf. Diese Bewegungen der Sehdinge sehen wir als solche, beziehen sie aber gleichwohl nicht auf Bewegungen der Aussendinge. Sie geben uns ein gutes Mittel zur Localisirung nach der Tiefe, weil sie bei gleichschneller Bewegung des Kopfes um so grösser sind, je weiter das entsprechende Ding vor oder hinter dem eben fixirten Punkte liegt. Bei raschem Fahren auf der Eisenbahn sind diese Bewegungen der Sehdinge am auffälligsten. Betrachtet man dabei immer nur das in mässiger Entfernung von der Bahn Gelegene, so scheinen die ferneren Dinge mit uns vorwärts, die näheren aber in der entgegengesetzten Richtung fortzueilen, und es entsteht dadurch der Anschein einer Drehung der ganzen Landschaft um den jeweilig betrachteten Punkt.

Auch über die absolute Entfernung der Dinge könnte uns die Kopfbewegung einigen Aufschluss geben. Die Bilder sehr ferner Dinge ändern ihre Lage auf der Netzhaut fast gar nicht, wenn man den Kopf verschiebt; je näher die Dinge sind, desto grösser und schneller ist die Verschiebung der Bilder, welche, in dem Maasse als sie entsteht, durch Augenbewegungen compensirt wird, wenn der Blick auf dem bezüglichen Dinge festgehalten wird. Die Art der Bildverschiebung und der compensirenden Augenbewegung ist also eine Function der Entfernung des fixirten Objectes und könnte daher ein Mittel zur entsprechenden Localisirung sein. Inwieweit dies der Fall, wurde bisher nicht untersucht.

Helmholtz[1] hat auf die durch Kopfbewegung hervorgerufenen Scheinbewegungen aufmerksam gemacht, welche sich bei haploskopischen Versuchen zeigen. Legt man z. B. zwei gleiche Münzen nebeneinander auf den Tisch und betrachtet sie haploskopisch mit parallelen Gesichtslinien, so bewegt sich ihr Bild bei Bewegung des Kopfes in entgegengesetztem Sinne; haploskopirt man aber mit gekreuzten Gesichtslinien, so bewegt es sich in gleichem Sinne wie der Kopf. Dem entspricht, dass Manche das haploskopische Bild bei gekreuzten Gesichtslinien ferner, bei parallelen näher sehen, als die in gewöhnlicher Weise betrachteten Münzen. Nach der Lage des Blickpunktes wäre das Gegentheil zu erwarten (vergl. S. 431).

Nicht bloss auf die Localisirung des Kernpunktes und der Kernfläche und auf die Anordnung der Sehdinge nach der Dimension der Tiefe wirken die Erfahrungsmotive ein, sondern auch die Lage der Längsmittelebene kann wesentlich mit durch sie bestimmt werden. Neigen wir den Kopf stark seitwärts, so sehen wir, wenn wir die

1 Helmholtz, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1878. S. 323.

Erfahrungsmotive möglichst ausschliessen, eine wirklich verticale Linie nicht vertical, sondern entgegengesetzt der Kopfneigung geneigt (Aubert[1].) Wir unterschätzen gleichsam bei dieser ungewöhnlichen Kopfhaltung, wie Aubert gezeigt hat, die Neigung des Kopfes, und die schwache entgegengesetzte Rollung der Augen (vergl. S. 507) kann diese Ueberschätzung bei starken Kopfneigungen nicht compensiren. Blickt man durch eine Röhre nach einer gleichmässig gefärbten Fläche, lässt einen Draht zwischen beiden bewegen und so lange drehen, bis er vertical scheint, so ergibt sich, dass er in Wirklichkeit stark seitwärts geneigt ist. Unter gewöhnlichen Umständen aber localisiren wir gleichwohl auch bei jeder Neigung des Kopfes die Verticalen richtig, weil fast immer einige vorhanden sind, deren Lage wir bereits aus Erfahrung kennen.

VIERZEHNTES CAPITEL.

Ueber Stereoskopie.

Wenn man genau dieselben Netzhautbilder, welche ein nach der Tiefe ausgedehntes Object oder ein mit verschieden entfernten Dingen erfüllter Gesichtsraum gibt, durch zwei (nach der S. 393 gegebenen Regel entworfene) Bilder erzeugen könnte, deren je eines vor ein Auge gestellt ist, so würden in beiden Fällen die Gesichtsempfindungen und ihre Anordnung im Sehraume dieselben sein müssen. Dies wird angestrebt, aber freilich nie vollkommen erreicht mittels des von Wheatstone erfundenen Stereoskopes. Dasselbe ist nur eine besondere Art jener Vorrichtungen, welche wir (Cap. I und VI) als haploskopische bezeichnet haben. Während die dort besprochenen Versuche nur die binoculare Verschmelzung correspondirender oder disparater Bilder bei ruhendem Blicke betrafen, gilt es beim Stereoskope dem bewegten Doppelauge durch die beiden Bilder genau dieselben Empfindungen zu erwecken, wie sie durch die entsprechenden wirklichen Objecte erzeugt werden müssten.

Angenommen die beiden Bilder sind nach der auf S. 393 angegebenen Regel angefertigt, was sich, abgesehen von der Farbe,

---

1 Aubert, Physiol. d. Netzhaut S. 275.

auf photographischem Wege mit ziemlicher Vollkommenheit erreichen liesse, so wäre die nächste Aufgabe, dieselben so vor den Augen aufzustellen, dass die Gesichtslinien bei Fixirung jedes beliebigen Doppelpunktes der Doppelzeichnung genau dieselbe Convergenz hätten, wie bei Fixirung des entsprechenden Punktes des wirklichen Objectes. Dies ist mit hinreichender Genauigkeit möglich. Dagegen lässt sich die zweite Forderung nicht erfüllen, dass die Entfernung der einzelnen Doppelpunkte der Doppelzeichnung dem durch die jeweilige Convergenz bedingten Accommodationszustande der Augen eben so entsprechen solle, wie in der Wirklichkeit. Sollen die beiden Bilder nahe Objecte reproduciren, die sich irgend erheblich nach der Tiefe erstrecken, so erfordert die stereoskopische Betrachtung starke Aenderungen der Convergenz und bringt also auch starke Aenderungen der Accommodation mit sich, die zu der immer gleichen Entfernung der Bildpunkte nicht passt. Stellen aber die Zeichnungen ein fernes Object dar, so können sie eben so wenig wie das entsprechende wirkliche Object irgend erheblich disparate Bilder geben, und es ist also auch wenig oder keine Gelegenheit zu der auf Disparation der Bilder und Aenderung der Convergenz beruhenden Tiefenwahrnehmung gegeben; es handelt sich dann im Wesentlichen nur um Haploskopie congruenter, nicht um Haploskopie disparater Bilder, und nur die letztere wird unter der eigentlichen Stereoskopie verstanden. Während also die auf Haploskopie bei ruhendem Blicke berechnete Doppelzeichnung ihrem Zwecke, wie wir gesehen, ziemlich vollkommen entsprechen kann, ist dies bei den auf eigentliche Stereoskopie mit bewegtem Blicke berechneten Bildern nicht so vollkommen möglich.

Die gewöhnlichen Stereoskopenbilder würden übrigens streng genommen nur für Augen passen, deren gegenseitiger Abstand unverhältnissmässig grösser wäre, als die wirkliche Augendistanz. Sie müssten mit ganz unnatürlich stark convergirenden Gesichtslinien betrachtet werden, wenn sie ein dem wirklichen Objecte geometrisch ähnliches Anschauungsbild erzeugen sollten, welches dann aber viel zu klein, weil viel zu nah sein würde. Werden aber die Bilder bei schwächerer Convergenz betrachtet, und liegt das von ihnen erzeugte Anschauungsbild fern, so muss es insbesondere nach der Dimension der Tiefe verzerrt erscheinen.

Das von WHEATSTONE construirte Stereoskop, bekannt unter dem Namen des Spiegelstereoskopes, glich im Wesentlichen dem auf S. 393 beschriebenen Spiegelhaploskop; nur waren die Spiegel und die Falze, in welche die Bilder eingeschoben wurden, fest mit

einander in einem Kasten verbunden. Eine Modification dieses fixen Stereoskops ist das auf S. 393 erwähnte bewegliche Stereoskop Wheatstone's.

Allgemein gebräuchlich ist jetzt das Brewster'sche Stereoskop, welches in Fig. 64 schematisch dargestellt ist. Die beiden Zeichnungen müssen hier freilich so klein sein, dass, wenn sie neben einander liegen, der Abstand zweier zu einander gehörigen Punkte nicht wesentlich grösser ist, als die Augendistanz. Vor jedem Auge befindet sich ein Prisma, welches seine brechende Kante der Medianebene zuwendet. Jedes Prisma hat convexe Flächen und dient also zugleich als Sammellinse. Als Prisma soll es bewirken, dass trotz der beim Blicken in den Kasten unwillkürlich eingehaltenen Convergenz der Gesichtslinien sich beide Bilder annähernd correspondirend abbilden können, wie wenn die Gesichtslinien parallel ständen; als Linse hat es die Aufgabe, eine Correction der für die grosse Nähe der Bilder nicht genügenden Accommodation herbeizuführen. Verbesserungen dieser Einrichtung wurden dadurch erzielt, dass die Prismen in der Richtung nach dem Auge verschiebbar und zugleich drehbar gemacht wurden, wodurch die Correction der Blicklage und der Accommodation individuellen Verschiedenheiten angepasst werden kann, ferner dadurch, dass durch seitliche Verschiebung eines oder beider Prismen das Instrument sich für verschiedene Augendistanzen einrichten lässt. Zu wissenschaftlichen Untersuchungen ist dieses Stereoskop nicht leicht brauchbar; man wird dann stets besser die beiden Zeichnungen mit freien Augen haploskopisch betrachten, höchstens vor jedes Auge eine Linse zur Correction der Accommodation setzen. Helmholtz bringt vor die parallel gestellten Augen ein Linsensystem, in dessen Brennpunkt die Zeichnung liegt, so dass die Lichtstrahlen so ins Auge gehen, als kämen sie von sehr fernen Punkten.



Fig. 64 (nach Helmholtz).

Um von fernen Objecten, welche, direct betrachtet, beiden Augen nahezu oder völlig congruente Bilder geben und deshalb keine auf Disparation der Bilder beruhende Wahrnehmung ihres Reliefs und ihrer Anordnung nach der Tiefe erzeugen, gleichwohl disparate Bilder zu bekommen und so einen energischen körperlichen Eindruck zu erzielen, bedienen sich die Verfertiger der Stereoskopenbilder, wie

erwähnt, des Kunstgriffes, dass sie beide Bilder von zwei Standpunkten aufnehmen, welche viel weiter von einander abliegen, als die beiden Augen. Auf der Benutzung desselben Kunstgriffes beruht das von Helmholtz erfundene Telestereoskop.

Dasselbe ist in Fig. 65 schematisch dargestellt. Befinden sich den Augen *l* und *r* gegenüber zwei unter 45° gegen einander geneigte kleine Vertikalspiegel und rechts und links davon je ein grösserer Spiegel, der dem kleinen Spiegel derselben Seite parallel ist und demselben die spiegelnde Fläche zuwendet, so sind die Netzhautbilder der mittels doppelter Spiegelung gesehenen fernen Dinge so beschaffen, als ob die beiden Augen so weit auseinanderständen wie die Augen λ und ϱ in der Figur. Bei so grossem Abstande aber würden sie von den nicht allzu fernen Dingen incongruente Bilder erhalten, deren Disparation die Tiefenverhältnisse der Dinge wahrzunehmen gestattet. Je grösser der gegenseitige Abstand der beiden grossen Spiegel, an desto ferneren Dingen wird man deshalb Relief und Tiefanordnung wahrnehmen.



Fig. 65.

Legt man zwei identische kleine Photographien einer Person oder einer Landschaft derart neben einander, dass sie sich bei ungefähr parallelen Gesichtslinien haploskopisch verschmelzen lassen, so macht das Verschmelzungsbild den Eindruck grösserer Naturwahrheit, weil die Stellung der Gesichtslinien derjenigen besser entspricht, welche sie bei Betrachtung des wirklichen Objectes annehmen würden. Von einer einfachen Photographie kann man denselben natürlichen Eindruck erhalten, wenn man durch einen von Hirschberg[1] angegebenen Apparat dafür sorgt, dass man die Photographie trotz ihrer Nähe mit parallelen Gesichtslinien betrachten kann. Der Apparat besteht aus zwei Glasprismen mit parallelogrammatischem Querschnitt in der Anordnung, wie sie die Fig. 66 zeigt. Befindet sich in *a* das

---

1 Hirschberg, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1876. S. 622.

Object, in *l* das linke und in *r* das rechte Auge, so trifft bei Parallelstellung jede Gesichtslinie auf das ihr gerade gegenüber in *a* gelegene, durch zweimalige Spiegelung entstandene und beiderseits ganz gleiche Bild des Objectes *a*.[1]



Fig. 66.

Dieser Apparat ist also gleichsam ein umgekehrtes Telestereoskop. Wie man sieht, haben in Fig. 66 die spiegelnden Flächen jeder Seite in der zur Frontalebene parallelen Richtung einen Abstand, welcher der halben Augendistanz gleich ist. Macht man diesen Abstand beiderseits kleiner, so kann man mit dem Apparate das Relief naher Dinge, welche, wie z. B. das Trommelfell, nicht beiden Augen zugleich zugängig sind, gleichwohl binocular, jedoch verflacht, wahrnehmen. Man denke sich das Relief in *a*, die Augen *l* und *r* aber weiter von einander abstehend, als auf der Zeichnung, so würde das Auge *l* das linke Spiegelbild *a* etwas von der linken, das rechte Auge das rechte Bild *a* etwas von der rechten Seite sehen, und beide Augen würden deshalb etwas disparate Netzhautbilder erhalten. Aber auch bei unverändertem Abstande der spiegelnden Flächen liesse sich durch Drehung z. B. einer oder beider äussern Spiegelflächen eine leichte Verschiebung und Wendung des bezüglichen Spiegelbildes erzielen, so dass das linke Auge dasselbe von einer etwas andern Seite sehen würde als das rechte. Auf derartigen Einrichtungen beruhen die binocularen Augenspiegel (Giraud-Teulon, Böttcher[2]) und Ohrenspiegel (Böttcher[2]).

Vertauscht man im Stereoskop die beiden Bilder oder bringt man dieselben ohne Apparat mit gekreuzten Gesichtslinien zur Deckung, so erhält beidenfalls jedes Auge das fürs andere Auge bestimmte Netzhautbild, so dass jede gekreuzte Disparation in eine ungekreuzte, jede ungekreuzte in eine gekreuzte verwandelt und dadurch die scheinbare Anordnung des Gesehenen nach der Tiefe umgekehrt wird. Ein Relief erscheint dann wie die Matrize desselben, ein Kegel als Hohlkegel, ein durchsichtiges Polyeder derart, dass die hintere Fläche

1 Die Zeichnung ist so entworfen, als befände sich zwischen den beiden spiegelnden Flächen nicht Glas, sondern Luft.

2 Böttcher, Arch. f. Ophthalmologie XX. (2) S. 182. 1874.

desselben nach vorn gekehrt ist u. s. w. Stellen die Zeichnungen Objecte dar, die keine solche Invertirung gestatten, weil die Vertheilung von Licht und Schatten, die theilweise Deckung des hinter einander Gelegenen und andere Momente die der Wirklichkeit entsprechende Localisirung fordern, so entsteht ein eigenthümlicher Kampf zwischen den beiden Arten der Localisirung, wobei einzelne Stücke des Bildes nach den Gesetzen der einen, andere nach den Gesetzen der anderen Art gesehen werden (Panum [1]).

Auch wirkliche Objecte kann man in einer nach der Richtung der Tiefe umgekehrten Form und Anordnung sehen, wenn man vor jedes Auge ein rechtwinkliges Prisma (Reversionsprisma) so stellt, dass seine Kanten senkrecht und die Hypotenusenfläche der Medianebene parallel liegt. Dann sieht jedes Auge ein Spiegelbild der Dinge, so dass ebenfalls Rechts und Links vertauscht ist. Wheatstone nennt einen derartigen Apparat das Pseudoskop.

Man kann sich ferner auch von beliebigen planen Objecten stereoskopische Anschauungen verschaffen, wenn man durch irgend welches optische Hülfsmittel die Correspondenz seiner beiden Netzhautbilder in entsprechender Weise stört. Hält man bei binocularem Sehen vor ein Auge ein Prisma, so erscheinen gerade Linien auf einem Papiere, besonders die der Kante des Prisma parallelen, nach der Tiefe gekrümmt (Ruete). Das mit dem Prisma bewaffnete Auge sieht diese Linien in der Ebene des Papiers gekrümmt und durch Combination dieses krummen Bildes mit dem geraden des anderen Auges entsteht der stereoskopische Effect.


Fig. 67. Listing.

Verschiebt man eines der Netzhautbilder eines planen Objectes nach oben oder unten, was durch leichten Fingerdruck auf den Augapfel oder besser mittels eines Prismas geschieht, dessen brechende Kante horizontal liegt, so erhält man ebenfalls, wie Listing [2] gezeigt hat, bisweilen überraschende stereoskopische Eindrücke, falls nämlich die längs-disparaten Netzhautbilder eben so gut die quer-disparaten Bilder eines nach der Dimension der Tiefe ausgedehnten Objectes sein könnten. Freilich gehört dazu, dass die durch solche Disjunction, wie es Listing nennt, bewirkte Disparation der Bilder nicht wieder durch einseitige Hebung oder Senkung des einen Auges ausgeglichen werde. Beistehende Figur 67 ist besonders geeignet, die Stereoskopie durch blosse Bilderverschiebung zu erläutern. Betrachtet man sie, während man vor das eine

1 Panum, Physiol. Unters. über d. Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.
2 Listing, Göttinger Nachrichten 1869. Nr. 21. S. 431.

Auge ein Prisma mit horizontaler Kante hält, oder aber durch eine Brille, deren eines Glas man etwas nach oben, das andere nach unten verschoben hat, so dass die in Bezug auf das Auge nicht mehr centrirten Gläser beiderseits im entgegengesetzten Sinne als Prismen wirken, so erscheinen die beiden geschlängelten Linien als Raumspiralen.

Fertigt man sich dieselbe Figur doppelt an, betrachtet die Doppelfigur haploskopisch und verschiebt dann die eine Figur nach oben oder unten, so ergiebt sich derselbe Effect.

Zeichnet man auf die Papierfläche ein nahezu rechtwinkliges Kreuz, dessen einer Schenkel quer, der andere der Medianebene nicht ganz parallel liegt und hält vor das eine Auge ein Reversionsprisma, so scheint, wenn die quere Linie einfach gesehen wird, die andere zur Papierfläche geneigt und parallel der Medianebene. Denn dieselbe erscheint dem unbewaffneten Auge in entgegengesetztem Sinne geneigt als dem anderen Auge, welches das Spiegelbild empfängt. Jede ein wenig unsymmetrische Projection einer einfachen symmetrischen Figur giebt auf diese Weise einen stereoskopischen Eindruck (Helmholtz).

Schaltet man hinter das Objectivsystem eines Mikroskopes einen Prismenapparat ein, welcher analog wirkt, wie der in Fig. 66 dargestellte, so wird jeder aus dem untergelegten Präparate austretende Strahlkegel in zwei Hälften gespalten, welche verschiedene Wege einschlagen und jeder für sich durch je ein Ocular einem der beiden Augen zugeleitet werden können. Da den verschiedenen Strahlkegeln Objectpunkte entsprechen, welche in verschiedener Tiefe des Präparates liegen, so kann sich das Auge nicht gleichzeitig für alle Strahlkegel accommodiren, sondern nur für eine Gesammtheit solcher, deren zugehörige Objectpunkte annähernd in einer und derselben Ebene liegen. Bilden sich diese Punkte in beiden Augen correspondirend ab, so geben alle ferneren und alle näheren Punkte nicht correspondirend liegende Zerstreuungskreise, weil die Strahlkegel zu dünn sind, um die ganze Pupille auszufüllen, und das eine Auge nur die rechte, das andere nur die linke Hälfte jedes Strahlkegels und also auch des Zerstreuungskreises empfängt. Die Disparation dieser sehr kleinen Zerstreuungskreise bedingt das Näher- und Fernersehen der zugehörigen Punkte im Vergleich mit denen, für welche das Auge eben accommodirt ist.

In solcher Weise kommt, wie Helmholtz gezeigt hat, die stereoskopische Wirkung der binocularen Mikroskope zu Stande. In Nachet's binocularem Mikroskope wird übrigens nur die eine Hälfte

jedes Strahlkegels vom ursprünglichen Wege durch Prismen abgelenkt, während die andere ihren directen Weg fortsetzt.

Ueber noch andere Vorrichtungen und Apparate zur Erzielung stereoskopischer Eindrücke vergl. HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 685.

FÜNFZEHNTES CAPITEL.

Ueber binoculare Farbenmischung und binocularen Contrast.

Es bleibt uns übrig, einige Gesichtsempfindungen zu besprechen deren Entstehung das Zusammenwirken beider Augen ganz besonders zur Voraussetzung hat. Obwohl jede Gesichtsempfindung nicht blos von der einen, sondern immer, wenn auch oft in kaum merklicher Weise, zugleich von der andern Hälfte des Sehorganes mit bestimmt wird, so hat man sich doch gewöhnt, die hier zu erörternden Thatsachen der Empfindung von der Besprechung der übrigen abzusondern. Wir folgen also hier nur einem Gebrauche, nicht einer aus der Natur des Gegenstandes sich ergebenden Forderung.

I. Ueber binoculare Farbenmischung.

Schon bei Erörterung des Wettstreites der Conturen wurden beiläufig die Erscheinungen erwähnt, welche sich zeigen, wenn zwei correspondirende Netzhauttheile in verschiedener Weise bestrahlt werden. Wir fanden, dass dabei bald die von der einen, bald die von der andern Netzhaut ausgelöste Empfindung deutlicher ins Sehfeld trat, bald aber auch die resultirende Empfindung einer Mischfarbe.

Das Entstehen einer resultirenden Empfindung oder die Möglichkeit der binocularen Farbenmischung ist von den Einen ebenso entschieden bestritten, als von den Andern behauptet worden.[1] Der Widerspruch erklärt sich, ganz abgesehen von der Verschieden-

1 Die reiche Literatur dieser Frage findet sich verzeichnet bei FECHNER, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. VII. 1860; AUBERT, Physiol. d. Netzhaut S. 299. 1865; HELMHOLTZ, Physiol. Optik S. 791; W. v. BEZOLD, Annal. d. Physik u. Chemie. Jubelband 1874. S. 585.

heit der individuellen Disposition, einerseits aus der Verschiedenheit der Bedingungen, unter welchen beobachtet wurde, anderseits daraus, dass man unter binocularer Farbenmischung nicht immer dasselbe verstand und an diese Mischung sehr verschiedene Anforderungen stellte.

Legt man, unter sogleich weiter zu erörternden Bedingungen, zwei rothe (a' a Fig. 68) und zwei blaue (b, b') Quadrate von gleicher Grösse und ungefähr gleicher Helligkeit und sehr geringer Sättigung in gleichen Abständen neben einander, richtet ein Auge auf a, das andere auf b, so decken sich ihre Bilder im Sehfelde. Daneben erscheinen nach links noch zwei rothe, nach rechts zwei blaue Quadrate; die äussersten, α und β' sind unoculare Halbbilder, die beiden andern $\alpha'\alpha$, $\beta\beta'$ binoculare und durch Deckung zweier gleichfarbiger Bilder entstanden. Hier interessiren uns nur die drei mittlen Bilder,

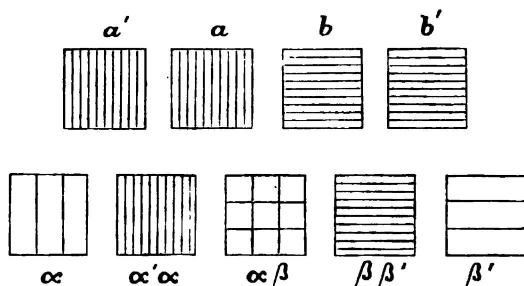


Fig. 68.

welche sämmtlich binocular sind. Vergleicht man die Farbe des mittlen Quadrates mit derjenigen des blauen oder des rothen Nachbarquadrates, so sieht man, dass sie weder der einen, noch der andern ganz gleich ist; meist ist sie auch nicht stetig, sondern wird bald röther, bald blauer, ohne jemals so blau oder so roth zu werden, wie die Farbe der seitlichen Quadrate. Kurz man sieht stets eine Mischfarbe aus Roth und Blau, die bald mehr in das eine, bald mehr in das andere sticht, bald beiden gleich nahe steht und dann ein mittles Rothblau (Violett) ist. Je länger man hinblickt, desto stetiger pflegt die Mischung zu werden und desto bequemer kann man die Mischfarbe mit den beiden Nachbarfarben vergleichen und sich von den Verschiedenheiten überzeugen. Ebenso kann man dann einen längeren Streifen eines wirklich blau-rothen Papiers quer oberhalb oder unterhalb der Quadrate zum Vergleiche hinlegen, auch wohl zufällig eines treffen, welches der Mischfarbe vorübergehend gleich erscheint.

Der Versuch gelingt am besten bei einer sehr mässigen Helligkeit und wenig gesättigten Farben. Die Quadrate müssen durchaus eben sein, weshalb man die farbigen Papiere zweckmässig auf eine Glastafel klebt. Die Farbe muss ganz gleichartig sein und darf keinen Fleck und kein erkennbares Korn haben, auch dürfen die Farben nicht glänzen. Endlich müssen die Netzhautbilder möglichst congruent sein. Da sich letzteres schwer erreichen lässt und jeder nicht genau correspondirend abgebildete Contur den Versuch stört, ist es zweckmässig, dafür zu sorgen, dass die Augen nicht für die Entfernung der Quadrate accommodirt sind, daher der Emmetrope und Hypermetrope besser mit parallelen, der Myope besser mit gekreuzten Gesichtslinien beobachtet. Ueberdies kann man auch passende Linsen benutzen, um die Schärfe der Bilder unmöglich zu machen.

Legt man auf tiefschwarzen, nicht glänzenden Sammet zwei weisse Quadrate, hält vor das eine Auge ein rothes, vor das andere ein blaues Glas, und fixirt mit dem einen Auge das eine, mit dem anderen das andere Quadrat, so sieht man drei Quadrate. Das mittle Quadrat entsteht durch binoculare Deckung eines rothen und eines blauen Bildes, die beiden seitlichen sind unoculare Bilder und tragen die Farbe des Glases. Auch hier sieht man, falls beide Gläser annähernd gleich helle Bilder liefern, das mittle Quadrat in einer wechselnden Mischfarbe, aber nie so roth oder so blau, wie die Nebenquadrate. Es sind hier dieselben Vorsichten zu gebrauchen, wie beim vorigen Versuche und überdies muss dafür gesorgt werden, dass die Gläser ganz rein und gleichartig sind und von solcher Dicke, dass sie annähernd gleichhelle Bilder geben.



Fig. 69.

Der letzt beschriebene Versuch hat den Mangel, dass die zur Farbenvergleichung benutzten Nebenquadrate nur unoculare Halbbilder sind und daher leicht ihre Helligkeit wechseln, wenn ein Wettstreit mit dem, von correspondirender Stelle des andern Auges gesehenen schwarzen Grunde eintritt. Dieser Uebelstand lässt sich dadurch beseitigen, dass man in einem passenden Rahmen ein rothes und ein blaues Glas neben einander legt, so dass sie sich mit ihren abgeschliffenen Rändern dicht berühren. Diesen Rahmen (*pp* Fig. 69) bringt man zwischen die Augen und den schwarzen Grund, auf welchem drei weisse Quadrate neben einander liegen. Befindet sich dabei die

Grenzlinie des rothen und blauen Glases in der Medianebene und hat der Rahmen die passende Entfernung von den Augen, so wird das mittle Quadrat *b* von dem einen Auge durch das rothe, von dem andern durch das blaue Glas gesehen, das eine seitliche Quadrat wird von beiden Augen durch das blaue, das andere von beiden durch das rothe Glas gesehen. Man erhält so drei binoculare Bilder und kann die Mischfarbe des mittlen mit der Farbe der seitlichen vergleichen. Diese Methode eignet sich besonders für solche, welche ihre Augenstellung noch nicht vollständig in der Gewalt haben.

Bei diesem Versuche ist darauf zu achten, dass die Gläser kein reflectirendes Licht ins Auge schicken, was durch einen oder mehrere passend angebrachte schwarze Schirme und passende Stellung des Kopfes leicht vermieden wird. Für den Anfang thut man gut, schwache Beleuchtung oder dicke Gläser zu wählen. Hat man die nöthige Uebung in der einen oder andern Methode, so kann man zu stärkerer Beleuchtung und satteren Farben übergehn. Man kann dabei jede Farbe mit solchen gleichhellen Farben (einschliesslich des Grau) mischen, welche nicht der Gegenfarbe (Complementärfarbe) nahe stehen. Jedem, der ein normales Augenpaar hat, wird es auf diese Weise gelingen, binoculare, nicht glänzende und nur langsam oder gar nicht mehr wechselnde Mischfarben zu sehen. Der Ton der jeweiligen Mischfarbe gehört dabei immer dem Theile des Farbencirkels an, welcher zwischen den Tönen der beiden gemischten Farben liegt. Je gesättigter die Farben sind, desto leichter tritt Wettstreit und Glanz hervor. Sind die Farben ungleich hell, so ähnelt die Mischfarbe im Allgemeinen mehr der helleren Farbe; aber selbst bei ziemlich grosser Helligkeitsdifferenz behält sie einen mehr oder weniger deutlichen Stich in die dunkle Farbe. Mit wachsendem Unterschiede der beiden Helligkeiten tritt der Wettstreit der beiden Farben und der Glanz immer stärker hervor. Aber erst bei sehr grosser Helligkeitsdifferenz kommt es vor, dass das Mittelquadrat vorübergehend ganz die gleiche Farbe zeigt, wie das hellere Nachbarquadrat. Benutzt man zum Versuche schwarze und weisse Quadrate auf grauem Grunde, so bekommt man den lebhaftesten Wettstreit und die Erscheinung des Glanzes, und wohl nie ein ruhiges Grau. Gegenfarben geben auch bei gleicher Helligkeit viel schwerer eine ruhige Mischfarbe, als andere Farbenpaare. Sind sie jedoch sehr wenig gesättigt, d. h. stark mit Weiss oder Grau versetzt oder sehr dunkel, d. h. stark mit Schwarz versetzt, so bekommt man unter Umständen eine ganz neutrale Resultante. Soll dieselbe weiss sein, so muss man sehr helle,

wenig gesättigte Pigmente, z. B. das vielverbreitete durchgefärbte Briefpapier, wählen und die Quadrate auf schwarzen Grund legen; das resultirende Weiss kann man dann mit einem daneben gelegten Weiss vergleichen. Ebenso kann man ein ruhiges neutrales Grau erhalten, wenn man wenig gesättigte Gegenfarben auf weissem Grunde benutzt.

Das Wichtigste bei allen Versuchen über binoculare Farbenmischung ist die möglichste Beseitigung aller Conturen, Punkte oder irgendwelcher anderen Ungleichartigkeiten der farbigen Fläche. Jeder Contur oder dergl. verhilft, wie wir im Cap. IV gesehen haben, der anliegenden Farbe des Grundes zum Siege im gemeinsamen Sehfeld. Am leichtesten vereiteln deshalb den Erfolg solche Conturen oder Ungleichartigkeiten, welche sich entweder nur auf der einen Netzhaut oder auf beiden nicht correspondirend abbilden. Denn diesenfalls dominirt an der entsprechenden Stelle des haploskopischen Bildes die eine oder andere Farbe, und von diesen Stellen verbreitet sie sich leicht über grössere Theile der Flächen. Eine ruhige gleichartige Mischfarbe ist dann unmöglich. Aus alledem erklärt sich, dass Manche bei ihren Versuchen nicht zum Ziele kamen.

Auf einen besonderen Umstand, der die genaue Correspondenz der Bilder vereiteln kann, hat v. Bezold hingewiesen. Handelt es sich um die binoculare Vereinigung von Farben, die im Spektrum weit auseinander liegen, denen also Strahlen von erheblich verschiedener Brechbarkeit entsprechen, so ist es für Jemand, der Augen von gleichem Refractionsvermögen besitzt, unmöglich, die Ränder zweier haploskopisch zu vereinigenden Flächen beiderseits gleich scharf zu sehn; die Augen accommodiren sich dann entweder für die eine oder für die andere Strahlenart. Das eine Auge empfängt also ein Bild mit scharfen, das andere ein solches mit verwaschenen Conturen, und das erste Bild ist dann im Vortheil.

Ein Contur, welcher sich auf beiden Netzhäuten scharf und correspondirend abbildet, schadet weniger, erhöht aber sozusagen die Spannung zwischen den anliegenden Empfindungen beider Augen, und giebt deshalb leicht Wettstreit oder Glanz. Deshalb ist es zweckmässig, die Conturen durch mangelhafte Accommodation zu verwischen.

Sucht man die Conturen dadurch zu vermeiden, dass man z. B. eine grosse unbegrenzte und ganz gleichartige Fläche betrachtet, während vor beide Augen verschiedenfarbige Gläser gehalten werden, so treten andere grosse Uebelstände auf. Erstens nämlich kann dann in den seitlichen, nur unocularen Theilen des Sehfeldes die eine Farbe ungestört von der andern sich geltend machen, und zweitens werden die nicht correspondirenden Ungleichartigkeiten der Erregbarkeit der beiden Netzhäute viel störender, als auf einer kleinen Fläche. Denn durch die Erregbarkeitsverschiedenheiten zweier correspondirender Netzhautpartien entsteht stellenweise eine Prävalenz der einen Farbe über die andere in ähnlicher

Weise wie durch objective Ungleichartigkeiten der beiden zu verschmelzenden Flächen.

Wenn über das thatsächliche Vorkommen der binocularen Farbenmischung kein Zweifel mehr sein kann, so erhebt sich die weitere Frage, inwiefern die Ergebnisse dieser Mischungsmethode denen analog sind, welche man durch Mischung verschiedenartigen Lichtes auf einer und derselben Netzhautstelle erhält. In dieser Beziehung fällt zunächst ein wesentlicher Unterschied auf. Hat man durch haploskopische Betrachtung zweier farbigen Flächen eine Mischfarbe erhalten und lässt dann genau dieselben farbigen Lichtmengen auf eine und dieselbe Netzhautstelle fallen, so ergibt sich eine ungleich hellere oder weisslichere Mischfarbe. Lässt man dagegen von jeder der beiden farbigen Lichtmengen nur die Hälfte auf eine und dieselbe Netzhautstelle wirken, so ist die Helligkeit oder Weisslichkeit der resultirenden Farbenempfindung gleicher Ordnung, wie die aus der binocularen Mischung sich ergebende Empfindung. Bringt man also die beiden Farben zu gleichen Hälften auf den Farbenkreisel oder mischt man die Farben mit dem Doppelspath, so erhält man eine Resultirende, welche sich in Betreff der Helligkeit wenigstens nicht auffallend von der durch binoculare Mischung erhaltenen Empfindung unterscheidet. Hieraus folgt schon ein höchst wesentlicher Unterschied der binocularen Farbenmischung von der unocularen, gleichviel ob letztere nur in einem Auge oder in beiden zugleich auf correspondirenden Stellen vorgenommen wird. Bei der unocularen Mischung handelt es sich um eine Art Summirung oder Superposition der Reize, und die resultirende Empfindung ist stets bedeutend heller als jede der beiden Empfindungen, welche nur durch die eine Componente des Lichtgemisches erzeugt werden. Mischt man aber die beiden Farben binocular, so ist die resultirende Mischfarbe nur ungefähr gleich hell, wie die Einzelfarbe.

Diese Thatsachen genügen schon, um selbst in den Fällen, wo die binoculare Mischung vollkommen gelingt, dieselbe der unocularen nicht gleichzustellen. Es ist, als ob beim Binocularsehen beide Netzhäute sich im gemeinsamen Sehfelde gleichsam nur mit einem Bruchtheile der ihnen zugehörigen Empfindung geltend machen könnten, und zwar so, dass diese Bruchtheile sich immer zu 1 ergänzen. Hering[1] nannte dies den Satz vom complementären Antheil der beiden Netzhäute am Sehfelde. Diesem Satze ordnen sich nicht nur die Thatsachen des Wettstreits unter, sondern auch die der unocu-

[1] Hering, Beitr. z. Physiol. § 121. 1864.

laren Farbenmischung; endlich noch einige Thatsachen, die man wohl auch als paradoxe bezeichnet hat.

Man sieht im Allgemeinen die Dinge mit beiden Augen nicht heller, als mit einem. Ist nämlich das eine Auge geschlossen oder ganz verdunkelt, so hat es fast gar keinen Antheil an dem gemeinsamen Mittelstücke des Sehfeldes. Sind beide Augen geöffnet, so participirt jedes Auge gleichsam nur mit der Hälfte seiner Empfindung am Sehfelde, so dass das Ergebniss dasselbe ist, wie wenn das eine Auge ganz unbetheiligt ist. Findet ein Wettstreit statt z. B. zwischen dem Schwarz des einen und dem Weiss des andern Auges, so sieht man bald reines Schwarz, bald reines Weiss, je nachdem eben die eine oder die andere Netzhaut vollständig dominirt, oder man sieht ein glänzendes Grau, welches bald heller bald dunkler ist, bald dem Weissen gleich nahe steht wie dem Schwarzen, aber man sieht doch nie das volle Weiss und das volle Schwarz zugleich an derselben Stelle des Sehfeldes. Man kann es leicht so einrichten, dass im binocularen Sehraum eine im einen Auge abgebildete weisse Fläche vor oder hinter einer vom andern Auge gesehenen schwarzen erscheint. Dann verschwindet einmal die eine, dann wieder die andere, und dazwischen sieht man beide zugleich, aber die eine gleichsam durch die andere hindurch, wie durch ein Glas oder einen Schleier. Aber auch diesenfalls kann man durchaus nicht sagen, dass man eine reinweisse und eine reinschwarze Fläche hinter einander sehe, obwohl hierfür wegen der räumlichen Sonderung der beiden Flächen gewiss die günstigsten Bedingungen vorliegen, die man sich denken kann. Vielmehr ist das Weiss der einen Fläche immer durch das Schwarz der andern beeinträchtigt und gleichsam abgeschwächt, weil eben jede Netzhaut ihre Empfindung nur theilweise geltend machen kann.

Fechner (l. c.) zeigte, dass vollständige Verdunkelung eines bis zu gewissem Grade schon verdunkelten Auges bei unverdunkeltem andern Auge eine Erhellung des gemeinsamen Sehfeldes bewirkt, obwohl jetzt auf beide Netzhäute zusammen weniger Licht fällt, als zuvor. Er blickte z. B. gegen den Himmel oder eine weisse Thüre und hielt vor das eine Auge ein graues Glas, welches diesem Auge Alles bis zu einem gewissen Grade verdunkelte. Schloss oder verdunkelte er nun dieses Auge vollständig, so wurde das Sehfeld heller, obgleich jetzt nur noch in ein Auge Licht fiel. So lange das eine Auge noch offen war, hatte es noch Antheil am gemeinsamen Sehfelde und lieferte einen Theil seiner relativ dunklen Empfindungen zur Herstellung der aus den Empfindungen beider Augen

resultirenden Mischempfindungen; wurde das Auge aber ganz verdunkelt, so sank sein Antheil am gemeinsamen Sehfelde fast auf Null herab, daher sich das letztere aufhellen musste. Analog konnte FECHNER, wenn er in das anfangs ganz verdunkelte Auge wieder etwas Licht fallen liess, die Helligkeit des gemeinsamen Sehfeldes abnehmen sehen. Das plötzlich etwas beleuchtete Auge machte sich dabei wieder mit seiner dunklen Empfindung im Sehfelde geltend.

Der Satz vom complementären Antheile der Netzhäute oder der Empfindungen am Sehraume kann nur ein zusammenfassender Ausdruck für die bekannten Thatsachen sein. Auf eine wirkliche Erklärung derselben, wie sie sich aus HERING's Theorie der Gesichtsempfindungen und dem von ihm aufgestellten psychophysischen Grundgesetze geben liesse, kann hier nicht eingegangen werden, weil weder jene Theorie noch dieses Gesetz in den bezüglichen Capiteln dieses Handbuches erörtert werden konnte.

Abgesehen von der Helligkeit gilt es auch, die binocular gewonnene Mischfarbe mit der durch unoculare Mischung erhaltenen in Betreff des Farbentones zu vergleichen. Bei der Herstellung der unocularen Mischfarbe kann man sich entweder des Farbenkreisels bedienen, welcher mit jeder der beiden Farben zur Hälfte bedeckt wird, oder mit HELMHOLTZ des Doppelspathes, welcher ebenfalls nur die halben Lichtquantitäten der beiden Farben mischt. Man thut dann gut, ein farbiges Papier herzustellen, dessen Farbe der gefundenen Mischfarbe genau gleicht. Bringt man einen langen Streifen dieses Papiers in der oben beschriebenen Weise oberhalb oder unterhalb der haploskopisch verschmolzenen Quadrate an, so kann man die binoculare Mischfarbe mit der unocularen direct vergleichen. Man findet dann fast immer eine deutliche Verschiedenheit des Tones, günstigen Falls aber gelingt es vorübergehend einen Ton der binocularen Mischfarbe zu finden, welcher der unocularen Mischfarbe genau gleicht; denn die erstere ist ja selten ganz stetig und spielt meistens abwechselnd mehr in die eine oder die andere Componente. Stellt man sich aber eine grössere Anzahl der Uebergangstöne von der einen zur andern Farbe mittels farbiger Papiere dar, so kann man unter Umständen, wo die Herstellung einer stetigeren, binocularen Mischfarbe mit Sicherheit gelingt, auch den entsprechenden Farbenton unter jenen Papieren finden. Es ist dies aber keineswegs nothwendig derselbe, welchen man erhält, wenn man die beiden Farben unocular zu gleichen Theilen mischt. Dass es Jemand gelungen sei, durch binoculare Mischung von Gegenfarben (Complementärfarben) genau

dasselbe Grau zu erhalten, wie durch unoculare Mischung zu gleichen Theilen, finden wir nirgends angegeben.

Helmholtz hat die Möglichkeit einer binocularen Farbenmischung überhaupt bezweifelt und für seine Augen sogar entschieden bestritten. Es hatte dies seinen Grund offenbar darin, dass er erstens nicht für die Ausschliessung aller irgend entbehrlichen Conturen und Ungleichartigkeiten sorgte, und dass er zweitens die Forderung stellte, die binoculare Mischfarbe solle durchaus derjenigen gleichen, welche man durch unoculare Mischung zu gleichen Hälften bekommt, was schon theoretisch nur als ein besonderer Fall erscheinen muss. Helmholtz beschreibt folgenden Versuch: „Man legt zwei blaue und zwei rothe quadratische Felder wie die eines Schachbretts zusammen, so dass z. B. das rechte obere und linke untere blau, das linke obere und rechte untere roth sind. Dann bringt man vor jedes Auge ein doppelbrechendes achromatisirtes Kalkspathprisma in derjenigen Stellung, dass es über einander liegende Doppelbilder giebt. Indem die Doppelbilder der farbigen Felder sich theilweis über einander schieben, entsteht für jedes Auge längs der horizontalen Trennungslinie der farbigen Felder ein aus Roth und Blau monocular gemischter, also rosarother Streifen. Jetzt blickt man mit parallelen Gesichtslinien nach den Feldern hin, so dass ihre Bilder sich binocular übereinanderschieben. Dann hat man oben rechtes Blau und linkes Roth sich deckend, in der Mitte Rosaroth mit Rosaroth, unten rechtes Roth mit linkem Blau. Unter diesen Umständen ist es für meine Augen ganz deutlich, dass in der binocularen Combination von Blau und Roth keine Spur von dem Rosenroth, wie es der mittlere Streifen zeigt, enthalten ist, sondern nur die beiden einzelnen Farben getrennt."

Eine kleine Modification des Versuches führt jedoch auch hier bisweilen zum Ziele. Man lege die Quadrate nicht dicht neben einander, sondern so, dass ein Streifen des Grundes sie trennt, ferner mache man sie so klein, dass sich die unteren mit den oberen genau decken, und nicht bloss in einander greifen, wenn man sie durch den Doppelspath betrachtet. Ueber das obere rothe Quadrat lege man noch ein gleich grosses rothes, über das obere blaue noch ein gleiches blaues. Dann sieht man mittels des Spathes 8 Quadrate. Die beiden oberen und die beiden unteren Quadrate kommen nicht in Betracht, denn es sind nur Halbbilder. Die zweituntersten erscheinen in der unocularen Mischfarbe, von den zweitobersten ist das eine blau, das andere roth. Bringt man beide Quadratreihen binocular zur Deckung, so sieht man drei Längsreihen, deren mittlere binocular ist und uns hier allein interessirt. In dieser Reihe zeigt das zweite Quadrat von oben die binoculare, das nächstuntere aber die unoculare Mischfarbe. Sind die zu mischenden Farben nicht zu hell und nicht zu gesättigt, so gleicht bisweilen die unoculare Mischfarbe der binocularen in Betreff des Tones vollkommen. Immerhin ist dies, wie sich nach dem oben Gesagten von selbst versteht, nur ein besonders glücklicher Fall.

Helmholtz hat, da er als unoculare Mischfarbe von „Roth" und Blau ein helles Rosa fand, offenbar mit hellen Farben und wahrschein-

lich sogar auf schwarzem Grunde gearbeitet, wodurch er Wettstreit und Glanz begünstigt hat.

II. Ueber binocularen Contrast.

Man lege auf eine schwarze Fläche einen weissen Streifen, spalte letzteren durch Schielen in ein Doppelbild und bringe vor das rechte Auge ein blaues, vor das linke ein graues Glas, so wird man das Bild des rechten Auges blau, das Bild des linken Auges aber gelblich sehen, und zwar am sichersten dann, wenn der Streifen durch das graue Glas gesehen gleich hell erscheint, wie durch das blaue. Um die ins linke Auge fallende Lichtmenge passend zu schwächen, kann man sich statt des grauen Glases auch eines steifen Papiers mit einem kleinen Loche bedienen, welches man dicht vor das linke Auge bringt.

Das Gelb des linken Bildes ist eine Contrastempfindung; denn so lange der Streifen nur mit dem linken Auge betrachtet wird, erscheint er grau, sobald aber das rechte Auge geöffnet und seine Netzhaut blau bestrahlt wird, färbt er sich gelb. Diese Art des Contrastes kann also nur beim binocularen Sehen entstehen. Gleichgültig ist es natürlich, vor welches Auge man das farbige Glas bringt. Ebenso kann man statt des blauen irgend ein anders gefärbtes Glas benutzen, immer färbt sich das Bild des anderen Auges mit der Gegenfarbe (Complementärfarbe).

Legt man einen schwarzen Streifen auf weissen Grund und verfährt im Uebrigen ganz ebenso, wie beim vorigen Versuche, so erscheint das Bild des rechten Auges umsäumt von einem blauen, das des linken von einem gelblichen Randscheine, der Grund aber erscheint im Allgemeinen weisslichblau, und seine Farbe ist dem Wettstreite unterworfen, wird also bald weisslicher, bald blauer.

Der deutlich blaue Saum des rechtsäugigen Bildes ist dadurch bedingt, dass die Conturen des Streifens dem ihnen anliegenden Blau zur Prävalenz im Sehfelde verhelfen, wie dies im IV. Capitel erörtert worden ist. Aus demselben Grunde entsteht der Randschein des linksäugigen Bildes, welcher, wenn nicht der Contrast da wäre, lediglich weiss sein müsste, durch letzteren aber gelblich gefärbt wird. Auch bei diesem Versuch kann man Gläser von beliebig anderer Farbe mit analogem Erfolge benutzen.

Der binoculare Contrast bietet ein gutes Mittel, um selbst kleine Verschiedenheiten in der sogenannten Stimmung beider Augen zu entdecken. Hat man ein Auge einige Zeit geschlossen und dadurch seine Empfindlichkeit gesteigert, und man spaltet dann das Bild eines

grauen Streifen auf schwarzem Grunde zu einem Doppelbild, so erscheint das Bild des vorher geschlossenen Auges auffallend heller und meist unterscheiden sich auch beide Bilder durch ihre Farbe. Stellt man z. B. den Versuch bei künstlicher Beleuchtung an, in welcher die gelben Strahlen überwiegen, so erscheint das Bild des zuvor geschlossenen Auges gelblich, das des offen gebliebenen Auges bläulich. Man kann sich auf diese Weise überzeugen, dass auch das Tageslicht fast immer farbig ist, jedoch verschieden je nach dem Stande der Sonne und je nach der Art der Bewölkung des Himmels. Blickt man mit einem Auge kurze Zeit durch ein farbiges Glas nach hellen Objecten und stellt den obigen Versuch an, so spielt das Bild dieses Auges in die Gegenfarbe des Glases, das des anderen Auges aber in die Farbe des Glases selbst.

Ausser durch die Pupille empfangen die Netzhäute auch etwas Licht durch die Sklera. Die Quantität dieses Lichtes ist verschieden je nach der Stellung, welche man zur Lichtquelle hat. Ist unser Kopf durch ein Fenster oder eine andere Lichtquelle seitlich beleuchtet, so empfängt das eine Auge mehr Licht durch die Sklera als das andere; die Folge ist nicht nur eine verschiedene Helligkeit und Färbung der beiden Netzhautbilder eines und desselben Aussendinges, sondern auch weiterhin eine verschiedene Stimmung beider Augen. Erzeugt man sich unter solchen Umständen das Doppelbild eines hellen Streifens auf dunklem Grunde, so erscheinen seine beiden Bilder verschieden hell und verschieden gefärbt.

Die meisten in das Gebiet der binocularen Contrasterscheinungen gehörigen Thatsachen hat Fechner beigebracht, einzelne Beobachtungen finden sich schon bei Brücke, Meyer und Panum. Fechner sieht im binocularen Contrast die Folge einer Wechselwirkung der Netzhäute auf einander; Helmholtz erklärt ihn, wie alle Contraste, psychologisch. Die Literatur des binocularen Contrastes siehe bei Fechner[1] und Helmholtz[2].

---

1 Fechner, Ueber einige Verhältnisse des binocularen Sehens. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. VII. 1860.
2 Helmholtz, Physiol. Optik S. 794.

Druckfehler.

Seite	252	Zeile	7	v. o.	statt	von	lies	aus
„	257	„	21	v. o.	„	des	„	der
„	257	„	31	v. o.	„	welche	„	welchen
„	258	„	16	v. u.	in d.	Ueberschr. statt 2.	„	3.
„	258	„	6	v. u.	statt	mikroskopisch	„	makroskopisch
„	262	„	13	v. o.	„	angeschmolzene	„	angeschmolzenen
„	275	„	12	v. o.	„	Chorioïcapillaris	„	Choriocapillaris
„	275	„	29	v. o.	„	erkannt habe	„	entgangen sei
„	294	„	6	v. u.	„	Cromophane	„	Chromophane
„	308	„	7	v. u.	„	ebenso so	„	ebenso
„	350	„	6	v. o.	„	das	„	dies
„	360	„	18	v. o.	„	1°15″	„	1°15′
„	379	„	10	v. o.	„	Meridianhoropter,	„	Meridianhoropter.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.

6

Handbuch der Physiologie.

1879 erschienen:

ERSTER BAND.
Physiologie der Bewegungsapparate.

I. Theil.	**Allgemeine Muskelphysik**	*Prof. L. Hermann.*	10 ℳ
	Stoffwechsel der Muskeln	*Prof. O. Nasse.*	
	Flimmer- und Protoplasmabewegung	*Prof. W. Engelmann.*	
II. Theil.	**Stimme und Sprache**	*Doct. P. Grützner.*	9 ℳ
	Specielle Bewegungslehre	*Prof. A. Fick.*	

ZWEITER BAND.
Physiologie des Nervensystems.

I. Theil.	**Allgemeine Nervenphysiologie**	*Prof. L. Hermann.*	6½ ℳ
	Specielle Nervenphysiologie	*Prof. Sigm. Mayer.*	
II. Theil.	**Rückenmark. — Gehirn**	*Prof. C. Eckhard.*	10 ℳ
	Grosshirnrinde	*Prof. Sigm. Exner.*	

DRITTER BAND.
Physiologie der Sinnesorgane.

I. Theil.	**Gesichtssinn:** Dioptrik, Accommodation, Licht- u. Farbensinn, Nebenapp. d. Auges	*Prof. A. Fick.*	15 ℳ
	Chemische Vorgänge in der Netzhaut	*Prof. W. Kühne.*	
	Raumsinn des Auges, Augenbewegung	*Prof. E. Hering.*	
II. Theil.	**Gehör**	*Prof. V. Hensen.*	— ℳ
	Geschmackssinn. — Geruchssinn	*Prof. M. v. Vintschgau.*	
	Tastsinn und Gemeingefühle	*Prof. O. Funke.*	
	Temperatursinn	*Prof. E. Hering.*	

1880 werden erscheinen:

VIERTER BAND.
Physiol. des Kreislaufs, der Athmung u. d. thierischen Wärme.

Blut und Blutbewegung	*Prof. A. Rollett.*
Innervation der Kreislaufsorgane	*Prof. H. Aubert.*
Blutgase und respiratorischer Gaswechsel	*Prof. N. Zuntz.*
Athembewegungen und Innervation derselben / **Thierische Wärme**	*Prof. J. Rosenthal.*

FÜNFTER BAND.
Physiologie der Absonderung und Aufsaugung.

Physiologie der Absonderungsprocesse, excl. Schweissabsonderung	*Prof. R. Heidenhain.*
Schweissabsonderung	*Prof. B. Luchsinger.*
Chemie der Secrete, excl. Verdauungssäfte / **Chemie der Gewebe,** excl. Muskeln u. Drüsen	*Prof. H. Huppert.*
Verdauungssäfte und Verdauung	*Prof. R. Maly.*
Resorption, Lymphbildung, Assimilation	*Prof. W. v. Wittich.*
Bewegungen der Eingeweide (incl. Physiol. der glatten Muskeln)	*Prof. Sigm. Mayer.*

SECHSTER BAND.
Physiologie des Gesammt-Stoffwechsels u. d. Fortpflanzung.

Allgemeiner Stoffwechsel	*Prof. C. v. Voit.*
Zeugung	*Prof. V. Hensen.*

= ***Jeder Band ist auch einzeln käuflich.*** =

☞ Bisher erschienen **Band I. 1.** = 10 Mk.; **Band I. 2.** = 9 Mk.; **Band II. 1.** = 6 Mk. 50 Pf.; **Band II. 2.** = 10 Mk.; **Band III wird noch in diesem Jahre, Band IV—VI** 1880 **erscheinen.** ☜

Druck v. [illegible], Leipzig.

HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE

bearbeitet von

Prof. H. AUBERT in Rostock, Prof. C. ECKHARD in Giessen, Prof. TH. W. ENGELMANN in Utrecht, Prof. SIGMUND EXNER in Wien, Prof. A. FICK in Würzburg, weil. Prof. O. FUNKE in Freiburg, Dr. P. GRÜTZNER in Breslau, Prof. R. HEIDENHAIN in Breslau, Prof. V. HENSEN in Kiel, Prof. E. HERING in Prag, Prof. L. HERMANN in Zürich, Prof. H. HUPPERT in Prag, Prof. W. KÜHNE in Heidelberg, Prof. B. LUCHSINGER in Bern, Prof. R. MALY in Graz, Prof. SIGMUND MAYER in Prag, Prof. O. NASSE in Halle, Prof. A. ROLLETT in Graz, Prof. J. ROSENTHAL in Erlangen, Prof. M. v. VINTSCHGAU in Innsbruck, Prof. C. v. VOIT in München, Prof. W. v. WITTICH in Königsberg, Prof. N. ZUNTZ in Bonn.

Herausgegeben

von

DR. L. HERMANN,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH.

Dritter Band.

Physiologie der Sinnesorgane.

ZWEITER THEIL.

Gehör von *V. Hensen.* **Geschmack. Geruch** von *M. v. Vintschgau.*
Tastsinn und Gemeingefühle von *O. Funke.*
Temperatursinn von *E. Hering.*

LEIPZIG
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1880.

HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE.

HANDBUCH

DER

PHYSIOLOGIE

BEARBEITET VON

Prof. H. AUBERT in Rostock, Prof. C. ECKHARD in Giessen, Prof. TH. W. ENGELMANN in Utrecht, Prof. SIGM. EXNER in Wien, Prof. A. FICK in Würzburg, weil. Prof. O. FUNKE in Freiburg, Dr. P. GRÜTZNER in Breslau, Prof. R. HEIDENHAIN in Breslau, Prof. V. HENSEN in Kiel, Prof. E. HERING in Prag, Prof. L. HERMANN in Zürich, Prof. H. HUPPERT in Prag, Prof. W. KÜHNE in Heidelberg, Prof. B. LUCHSINGER in Bern, Prof. R. MALY in Graz, Prof. SIGM. MAYER in Prag, Prof. O. NASSE in Halle, Prof. A. ROLLETT in Graz, Prof. J. ROSENTHAL in Erlangen, Prof. M. v. VINTSCHGAU in Innsbruck, Prof. C. v. VOIT in München, Prof. W. v. WITTICH in Königsberg, Prof. N. ZUNTZ in Bonn.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. L. HERMANN,

PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT ZÜRICH.

DRITTER BAND.

II. THEIL.

LEIPZIG,

VERLAG VON F. C. W. VOGEL.

1880.

HANDBUCH DER PHYSIOLOGIE

DER

SINNESORGANE.

ZWEITER THEIL.

GEHÖR von V. Hensen in Kiel.

GESCHMACKSSINN. GERUCHSSINN
von M. v. Vintschgau in Innsbruck.

TASTSINN UND GEMEINGEFÜHLE
von O. Funke in Freiburg.

TEMPERATURSINN von E. Hering in Prag.

MIT 32 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1880.

INHALTSVERZEICHNISS

zu Band III. Theil 2.

PHYSIOLOGIE DER SINNESORGANE. II.*)

Physiologie des Gehörs

von

PROF. V. HENSEN.

Seite

---

* Die allgemeine Empfindungslehre ist bei der Physiologie des Grosshirns im 2. Theil des II. Bandes abgehandelt.

Physiologie des Geschmackssinns und des Geruchssinns

von

PROF. M. V. VINTSCHGAU.

Physiologie der Hautempfindungen und der Gemeingefühle

von

PROF. O. FUNKE und PROF. E. HERING.

Erster Theil. Der Tastsinn und die Gemeingefühle.

Von PROF. O. FUNKE.*)

Zweiter Theil. Der Temperatursinn.

Von PROF. E. HERING.

---

*) Der Schluss, von Seite 410 ab, nach FUNKE's Entwurf von Prof. J. LATSCHENBERGER. Vgl. auch die Bemerkungen Seite 288.

PHYSIOLOGIE DES GEHÖRS.

VON

PROF. V. HENSEN IN KIEL.

EINLEITUNG.

In der heutigen Bearbeitung der Physiologie des Ohres findet die ältere Literatur wenig Raum; wenn man jedoch von HALLER's Elementa physiologiae IV. Lausannae 1763, Einsicht nehmen will, wo ein sehr vollständiger Literaturnachweis gegeben ist, wird man erkennen, dass grosse experimentelle und philosophische Arbeiten unserer Vorfahren nöthig und unentbehrlich waren, um den jetzigen Standpunkt unseres Wissens zu schaffen. Wie HALLER sich in manchen Stücken auf EULER's Arbeiten stützen konnte, fand JOH. MÜLLER's, (Physiologie 1840) unsere Kenntnisse sehr fördernde Bearbeitung des Gegenstandes, in den verschiedenen Versuchen von SAVART und in CHLADNI's Akustik (Leipzig 1802), namentlich aber in der Wellenlehre der Gebrüder WEBER (Leipzig 1825) einen Anhalt. Den späteren physiologischen Bearbeitungen von RINNE (Prager Vjschr. 1855), HARLESS (WAGNER's Handwörterb. d. Physiol. IV. 1853), LUDWIG (Lehrb. d. Physiol. 1858) u. A. standen namentlich die Arbeiten von SEEBECK (DOVE's Repert. VIII. Akustik) zur Seite. Während dann auf der einen Seite CORTI's (Ztschr. f. wiss. Zool. III) und MAX SCHULTZE's (MÜLLER's Archiv 1850) histologische Arbeiten die Kenntnisse des Labyrinths zeitigten, begann andererseits HELMHOLTZ im Anschluss an OHM's Klanganalyse (Ann. d. Physik. LIX. u. LXII) seine Thätigkeit auf akustischem Gebiet. Man findet dieselbe am vollkommensten dargelegt in der, jetzt in vierter Auflage erschienenen „Lehre von den Tonempfindungen" (Braunschweig 1878). HELMHOLTZ hat die Physiologie des Ohrs so tief und zugleich so umfassend bearbeitet, dass seine Lehren dies Gebiet mit Recht beherrschen. Hinzugekommen sind zu seinen Arbeiten, um Einiges zu nennen, die experimentellen Prüfungen der Bewegungen des Paukenapparates, deren MACH sich in verschiedenen Aufsätzen besonders angenommen hat, und die Untersuchungen von PREYER über die Feinheit der Empfindungen, während A. v. OETTINGEN die physiologische Theorie der Musik weiter geführt hat.

Eine kurze Definition der Vorgänge, mit welchen sich die Physiologie des Gehörorgans zu beschäftigen hat, ist uns in Newton's[1] Principien übermacht. Der Schall, heisst es dort, ist die, der Luft mitgetheilte und an das Ohr übertragene, zitternde und vibrirende Bewegung der Partikel des tönenden Körpers.

Schall ist der allgemeinste Ausdruck für diejenige Bewegung, welche unser Gehörorgan empfindet. Jede genauere Beachtung derselben lässt uns den Schall entweder als Ton oder als Geräusch oder als Gemisch beider bezeichnen.

Der Ton.

Wenn ein materieller Punkt durch äussere Kräfte aus seiner Gleichgewichtslage entfernt worden ist, so führt er, losgelassen, nach Analogie eines Pendels, Schwingungen um seine Ruhelage aus. Den Abstand des äussersten Punkts seiner Bahn von dem Ort der Ruhelage, nennt man die Amplitude seiner Schwingung, die doppelte Amplitude, seine Elongation. Die Zeit, welche der Punkt braucht, um von einer Stelle seiner Bahn aus wieder auf dieselbe Stelle mit derselben Bewegungsrichtung, mit welcher er den Lauf begann, zurückzukehren, bezeichnet man als Schwingungsdauer einer Schwingung (französisch vibration double v. d.). Eine halbe Schwingung (vibration simple) vollführt der Punkt in der halben Schwingungsdauer. Während der Zeit einer Schwingung wird er jeden Theil seiner Bahn zweimal durchlaufen, jeden Endpunkt einmal berühren müssen, wenn, was hier nur interessirt, seine Bahn auf einer geraden Linie liegt. Der Bewegungszustand des Punktes wird als Schwingungsphase bezeichnet. Dieser Ausdruck umfasst 1) die Angabe des Orts auf der Bahn, 2) die Richtung, in welcher sich der Punkt in dem gedachten Augenblick bewegt. Der Ort der Gleichgewichtslage wird als 0-Punkt angesehen; es ist gleichgültig, welchen Theil der Bahn man als positiv betrachtet, bei graphischen Darstellungen pflegt man den oberen, eventuell den nach rechts gehenden Theil der Bahn positiv zu nehmen.

Die um eine halbe Schwingungsdauer von einander entfernten Phasen nennt man entgegengesetzte. Der in diesen beiden Phasen sich befindende Punkt bewegt sich mit gleicher Geschwindigkeit aber in entgegengesetzter Richtung, und die betreffen-

1 Newton, Philosophiae naturalis principia mathematica. Genevae 1740. Tom. II. p. 348.

den Orte liegen in gleicher Entfernung von dem 0-Punkt der Bahn oder in diesem.

Die Form der Schwingung eines Punktes und weiterhin von Punktreihen, ist durch mathematische Formeln, die eine bequeme Anwendung gestatten, festgestellt.

Wenn ein Punkt unter den Einflüssen, welche bei den die Luft durchlaufenden Tonwellen zur Geltung kommen, schwingt, so wird der Ort dieses Punktes für jeden Augenblick gefunden durch die Gleichung

$$y = a \sin 2\pi \frac{t}{T} \qquad (1)$$

worin y seinen Abstand von der Gleichgewichtslage, a die Amplitude $\pi = 180^\circ$, t der beliebig zu wählende Moment ist, für welchen die Lage bestimmt werden soll. Für den Anfang der Schwingung ist $t = 0$ zu setzen. T ist die Schwingungsdauer. Für den Werth $\frac{1}{T}$ schreibt man häufig n also $T = \frac{1}{10}$ giebt $n = 10$, und die Formel wird $y = a \sin 2\pi n t$. $a = 2$, $t = 0{,}01''$ giebt $y = 2 \cdot \sin 36^\circ = + 1{,}18$ mm.

In derselben Weise bestimmt sich die Geschwindigkeit v des Punkts zur Zeit t durch:

$$v = a \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T} \qquad (2)$$

Die einem Molekel mitgetheilte Bewegung pflanzt sich in elastischen Massen auf das folgende fort. Bei der Untersuchung dieses Vorgangs ist bis vor Kurzem die Eigenbewegung der Moleküle vernachlässigt worden; in der That wird sie durch die Bewegung der Nachbarmolekel so völlig compensirt, dass wir jedes Molekel als ruhend ansehen dürfen. (Bei Fortbewegung ganzer Massen, z. B. Luftströmungen ändert sich die Fortbewegung des Stosses.)

Wenn die Bedingungen der Gleichgewichtslage und des Stosses für alle Theile einer Molekelreihe dieselben sind (wie in freien Räumen) so wiederholt jedes folgende Molekel genau die Schwingungen des vorhergehenden mit dem Unterschied, dass das erstere ein wenig später beginnt wie letzteres.

Wegen einer ganz bestimmten Beziehung zwischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stosses und Schwingungsdauer lässt sich dieser Vorgang in die oben gegebene Formel einbegreifen.

Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung ist für die verschiedenen Tonhöhen constant. Wird der Weg um welchen sich der Stoss in der Sekunde fortbewegt mit c bezeichnet und festgesetzt, dass in dem beliebig kleinen Zeittheil τ die Schwingung (Stoss) sich von einem

bis zum nächsten Molekel um die Wegestrecke ξ fortpflanze dann besteht die Gleichung $c\tau = \xi$.
da τ sehr klein, wird eine ganze Zahl m so gewählt werden können, dass

$$m\tau = T$$

die Schwingungsdauer eines zu untersuchenden Tons ist. Dann ist

$$cm\tau = m\xi = cT,$$

d. h. während einer Schwingungsdauer T durchläuft die Bewegung die Strecke $m\,\xi$, es werden alle auf dieser Strecke liegenden Molekel den Anstoss successive erhalten haben, welcher zur Zeit $t=O$ am Anfang der Strecke $m\,\xi$ eintraf. Hatte das am Anfang liegende Molekel gerade eine Schwingung vollendet, so wird das am Ende von $m\,\xi$ liegende im Begriff sein mit einer Schwingung zu beginnen. Alle dazwischen liegenden Molekel werden successive in allen Schwingungsphasen, die bei Pendelschwingungen vorkommen, begriffen sein, jedes wird aber eine andere Phase haben. Diese, durch eine grosse Reihe von Molekeln repräsentirte volle Schwingung wird als Welle bezeichnet. Ihre Länge λ ist durch die Formel

$$\lambda = c\,T \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

bestimmt.

Da in einem Wellenzuge jedes folgende Molekel um soviel später zu schwingen beginnt, wie die Wegstrecke, welche der Stoss von Molekel zu Molekel zu durchlaufen hat, an Zeit erfordert, so wird seine Phase getroffen, wenn von dem Ausdruck $\frac{t}{T}$ die betreffende Zeit oder, was dasselbe ist, die zwischen dem ersten und den folgenden Molekeln befindliche Wegstrecke abgezogen wird. Da jede Welle die Wiederholung der früheren ist, genügt es für die Bestimmung eines Wellenzuges den variablen Bruchtheil einer Wellenlänge d. i. den Ausdruck $\frac{x}{\lambda}$ als Minuendus für $\frac{t}{T}$ einzusetzen, also zu schreiben:

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (4)$$

$$v = a\,\frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (5)$$

Diese Formeln behalten Gültigkeit für jeden numerischen Werth von x. Für das, die Bewegung beginnende Molekel ist $x = 0$, die Formeln nehmen die Gestalt von 1 u. 2 an. Für alle vorhergehenden hat x den Abständen entsprechende Werthe, doch ist zu beachten, dass $\sin(a \pm 2n\pi)$ oder $\cos(a \pm 2n\pi) = \sin. a$ u. $\cos. a$, wenn n eine ganze Zahl. Die Werthe von x welche zwischen 0 u. λ liegen, geben also schon alle vorkommenden Werthe. Wird für x eine Constante gesetzt, so wird dadurch der Anfang der Bewegung gegenüber

der Formel 1 um eine entsprechende Phase verschoben. Graphisch lässt sich die Formel 4 nicht darstellen, weil sie die Welle in ihrem steten Wechsel giebt, doch kann man die Phasen z. B.

$$\frac{t}{T} = \frac{1}{12}, \; \frac{x}{\lambda} = 0, \frac{1}{12}, \; \frac{2}{12} \; \ldots\ldots \; 1$$

fixiren wie dies in Fig. 1 geschehen ist.

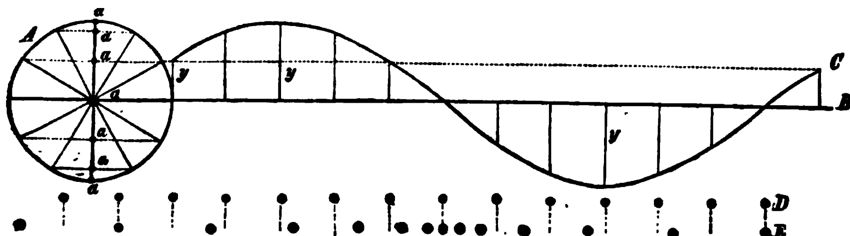


Fig. 1.

A. Eine Anzahl von Lagen des schwingenden Punktes a sind mit Hülfe einer Zwölftheilung des Kreisbogens für 12 Phasen nach Formel 1 gezeichnet, dabei ist $a = 6$ mm. genommen. Der Punkt wird die Transversalwelle C verzeichnen, wenn an ihm eine Fläche in der Richtung der Abscisse B in gleichmässiger Geschwindigkeit vorbeigezogen wird, die Ordinaten y stehen auf $^1/_{12}$ der Wellenlänge. Eine Reihe wie bei D angeordneter Molekel würde nach demselben Gesetz bei dem Durchgang einer Welle der angegebenen Amplitude eine zu Verdichtung und Verdünnung führende Verschiebung erleiden, wie solches durch die Reihe E dargestellt ist.

Die Töne machen je nach der absoluten Geschwindigkeit ihrer Oscillationen einen verschiedenen Eindruck auf unser Ohr; die langsamer schwingenden sind tiefer wie die rascher schwingenden. Man unterscheidet unter allen möglichen Tönen gewisse durch bestimmte Abstände — Tonstufen — von einander getrennte Töne. Eine Hauptstufe ist die Octave, weil die sie abgrenzenden beiden Töne sich jedem Ohr als höchst verwandte darstellen. Sie umfasst alle Schwingungen, welche zwischen einfacher und doppelter Oscillationsgeschwindigkeit liegen. Innerhalb jeder Octave werden durch die Tonleiter noch 7 ungleich breite Stufen unterschieden, nämlich:

$$\begin{array}{ccccccccccccccc} C & : & D & : & E & : & F & : & G & : & A & : & H & : & C \\ 1 & : & 9/8 & : & 5/4 & : & 4/3 & : & 3/2 & : & 5/3 & : & 15/8 & : & 2 \\ & 9/8 & & 10/9 & & 16/15 & & 9/8 & & 10/9 & & 9/8 & & 16/15 & \end{array}$$

Die obere Reihe giebt den Bruch an, mit welchem der Grundton zu multipliciren ist, um die Schwingungszahl des betreffenden Tons

zu erhalten, die untere Reihe giebt die Grösse des Intervalls der einzelnen Tonstufen.

Die absoluten Schwingungszahlen (v. d.) nehmen die Physiker wie folgt an:

Gebräuchliche Töne (Tab. I.).

Namen		Contra-Octave.	Grosse Octave.	Ungestrichene Octave.	Eingestrichene Octave.	Zweigestrichene Octave.	Dreigestrichene Octave.	Viergestrichene Octave.
französisch	deutsch	C_1 — H_1	C — H	c — h	c′ — h′	c″ — h″	c‴ — h‴	c⁗ — h⁗
							8va	
Ut.	C.	33	66	132	264	528	1056	2112
Re.	D.	37,125	74,25	148,5	297	594	1188	2376
Mi.	E.	41,25	82,5	165	330	660	1320	2640
Fa.	F.	44	88	176	352	704	1408	2816
Sol.	G.	49,5	99	198	396	792	1584	3168
La.	A.	55	110	220	440	880	1760	3520
Si.	H.	61,875	123,75	247,5	495	990	1980	3960

Zusammensetzung von Schwingungen.

Die bisher besprochene Bewegung, deren Form eine Sinuscurve darstellt, kommt in der Natur fast nicht vor; in der Regel greifen gleichzeitig mehrere Kräfte den schwingenden Punkt an, wodurch die Form der Bewegung complicirter wird. Sind die entstehenden Bewegungen einander parallel, so summiren sie sich einfach. Wenn also zur Zeit t ein Punkt in Folge der einzelnen Stösse die Ordinaten $y - y' + y'' - \ldots\ldots y_n$ haben würde, so wäre bei gleichzeitiger Wirkung aller die resultirende Ordinate Y

$$Y = y - y' + y'' - \ldots\ldots\ldots Y_n.$$

Durch solche Summirung kann die Bewegung höchst verwickelt werden.

Theiltöne.

Wenn sich der langsamsten Schwingung sogleich eine Reihe von Tönen der genau doppelten, dreifachen, überhaupt vielfachen

Schwingungsgeschwindigkeit hinzugesellt, so gestaltet sich der Ausdruck des Vorgangs für den einzelnen Punkt nach folgender Form:

$$y = a \sin 2\pi \frac{t}{T} + b \sin 4\pi \frac{t}{T} + c \sin 6\pi \frac{t}{T} + \cdots p \sin 2n\pi \frac{t}{T} \quad (6)$$

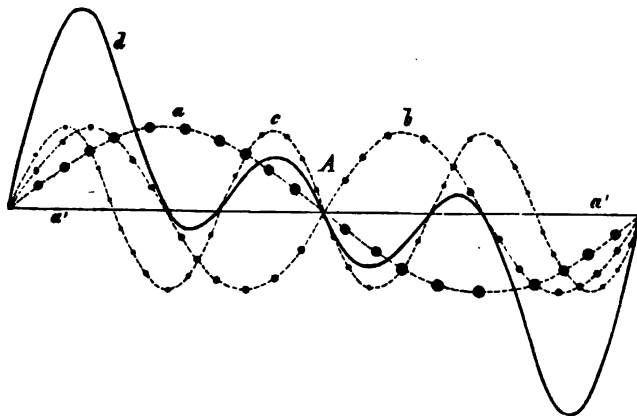


Fig. 2.*

Die Bewegung ist also die Resultante so vieler einfacher Schwingungen, wie Glieder auf der rechten Seite befindlich sind und die Ge-

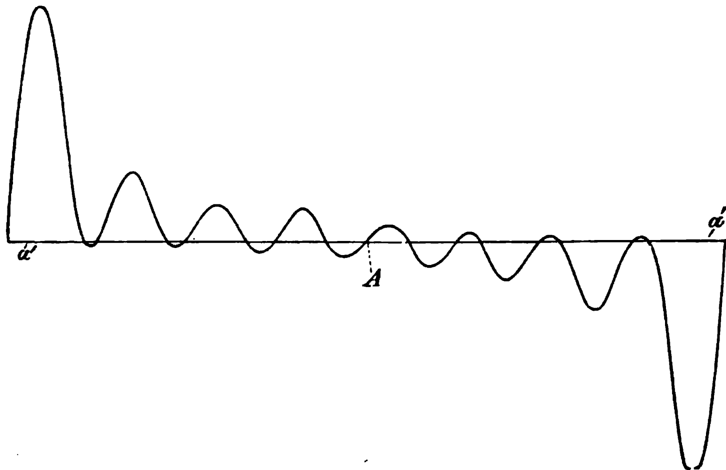


Fig. 3.*

sammtheit dieser Glieder nach ihrer Periode und Amplitude bestimmt die Form der Bewegung. Jedes einzelne Glied bezeichnet man als

---

* Fig. 2 *a' a'* Abscissenaxe, *a* 1., *b* 2., *c* 3. Theilton von 11 mm. Amplitude zu der Toncurve *d* vereint, halbe Wellenlänge bei *A*. Fig. 3 giebt die Curve der 8 ersten Theiltöne alle mit einer Amplitude von 5 mm.

Theil- oder Partialton und benennt es als 1., 2., 3., 4. Glied, je nach der Ordnungszahl, die ihm in der geschlossenen Theiltonreihe zukommt. Ist z. B. $C_1 C$ (Tab. I) der erste Theilton, so sind C—G, c, e, g die 5 folgenden, c', d', e' der 8. bis 10., h' c' der 15. und 16. Theilton. Den zweiten Theilton bezeichnet man als ersten harmonischen Oberton, den dritten als zweiten h. Oberton u. s. w.

Nach Fig. 2 und 3 lässt sich der Gang der Bewegung übersehen. Bei genügender Stärke der Obertöne erhält die Welle so viel Gipfel, wie die Ordnungszahl des höchsten Theiltons angiebt. Je mehr Töne, desto flacher werden die Gipfel in der Mitte, desto höher und stärker am Anfang und Ende der Periode. In Folge der Wirkung des ersten Theiltons schneidet die Axe der Welle die Abscisse unter spitzem Winkel in der Wellenmitte, wo stets die Ordinate = 0 ist.

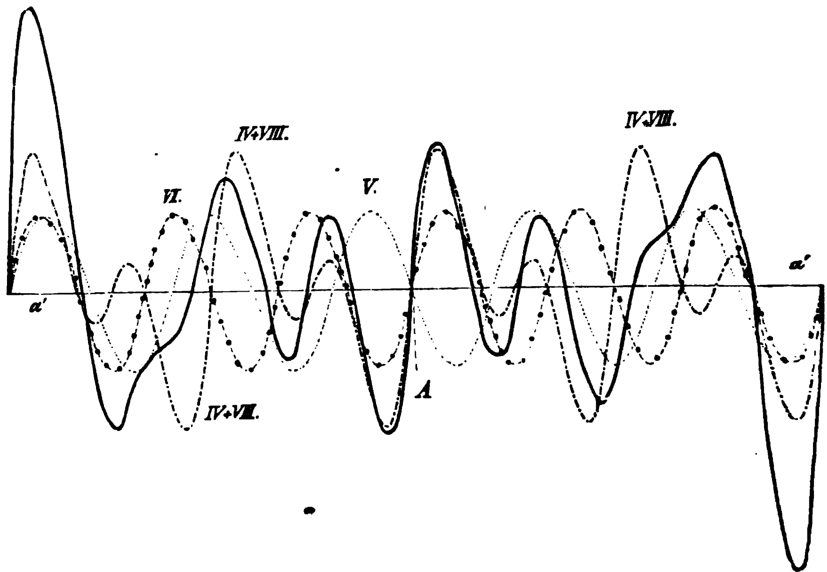


Fig. 4. Die ausgezogene Linie ist Welle des Duraccords, nämlich Grundton, gr. Terz, Quinte, Octave. Die gestrichelte Linie IV, VIII ist die combinirte Curve von Grundton und erstem Oberton (Octav) Curve V punktirt, ist gr. Terz, Curve VI doppeltpunktirt, die Quint.

Fallen Theiltöne ganz aus, so ändert sich die Gestalt der Curve erheblich. So entsteht z. B. die Figur 4 aus der Gleichung

$$y = \sin 8\pi \frac{t}{T} + \sin 10\pi \frac{t}{T} + \sin 12\pi \frac{t}{T} + \sin 16\pi \frac{t}{T}$$

in welcher die Amplitude zu 11 mm genommen ist.

Es ist dies also eine Theiltoncurve, in welcher 1., 2., 3. und

7. Ton fehlen. Trotzdem ist die Wellenlänge diejenige des Grundtons, $\sin 2\pi\frac{t}{T}$, aber die Wellenaxe geht jetzt in der Abscisse. Es können acht Gipfel unterschieden werden, doch sind zwei in Folge Ausfallens des 7. Theiltons nur als Wendepunkte angedeutet.

Wenn die Amplituden sich verändern, tritt eine so erhebliche Umgestaltung der Bewegung ein, dass das Auge die Aehnlichkeiten schwer erkennt. Es wird genügen, dies an zwei Beispielen zu demonstriren.

Auf nebenstehenden Curven hat eine Stimmgabel auf der berussten Fläche einer zweiten, welche in *A* die Octave, in *B* die Quinte angab, die Schwingungen geschrieben, mit ihrer Spitze darauf hingleitend. Der Grundton und der höhere Ton haben bei 1 u. 3 ihre Schwingungen *für sich* gezeichnet, die Amplitude des ersteren nimmt von oben nach unten gehend ab, die des letzteren zu. Die aus beiden Schwingungen resultirende Bewegung ergibt die Curve 2. Da die Curve 3 von der zweiten Stimmgabelbranche geschrieben werden musste, ist ein geringer Fehler ihrer relativen Lage wahrscheinlich. Die Curve *B* wird schon durch sehr geringe Intensität der Quint beeinflusst. In Curve *A* ändert sich zunächst die Form der Welle sehr wenig; erst bei einer grösseren Intensität des Obertons tritt der zweite Wendepunkt auf.*



Fig. 5.

* Durch Construction kann man solche Curven kaum darstellen, die Rechnung ergiebt Folgendes:

Für $y = a \sin 2\pi\frac{t}{T} + b \sin 4\pi\frac{t}{T}$

ist die Krümmung $\frac{-y''}{(1+y'^2)}{}^{3/2}$.

Der Zeichenwechsel, welcher den Wendepunkt anzeigt, kann nur vom Zähler abhängen, wird also für $y'' = 0$ erfolgen. Es ist

Jede Combination von Tönen lässt sich nach Analogie des Accordes als Summirung einiger zu einem gemeinsamen Grundton gehörenden Theiltöne auffassen, sobald man kleinste Bruchtheile der Schwingungen ausser Acht lässt, doch kann dabei die Wellenlänge des Grundtons eine sehr grosse werden. Der Grundton der Combination 1000 und 1001 ist 1, mit der Wellenlänge von 1000 Wellen des Tons 1000.

Phasenverschiebung.

Bisher ist angenommen, dass die combinirten Schwingungen gleichzeitig beginnen. Wenn zwei, in verschiedener Entfernung stehende Tonquellen gleichzeitig in Wirksamkeit treten, oder wenn die Töne Resonanzräume durchlaufen, ehe sie an das Trommelfell gelangen, findet solche Gleichzeitigkeit nicht mehr statt. Der Anfangstheil der einen Welle wird dann im Allgemeinen gegen denjenigen der anderen verschoben sein und die resultirende Bewegung kann sehr bedeutende Veränderungen, gegenüber den bisher besprochenen Formen erleiden. Die einzelnen Fälle müssen gesondert werden.

Gleich hohe Töne, welche unter Verschiebung ihrer Phase zur Wirkung kommen, ergeben eine Welle, deren Amplitude, je nachdem, zwischen der Summe oder Differenz der Amplituden beider sich hält, also bei gleichen Amplituden zur 0 herabsinken kann.

Die Gleichung der Bewegung würde sein

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \varphi\right) + a^1 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \varphi^1\right)$$

Die Bedeutung der Buchstaben ist die frühere. φ und φ' sind echte Brüche und die Differenz $(\varphi - \varphi')\pi$ ist der Werth, um welchen der eine Ton dem anderen in der Phase voraus ist. $\varphi = \varphi'$ giebt vollständige Addirung der Ordinaten der Welle, $\varphi - \varphi' = 1/2$ zeigt an, dass der eine Ton gegen den anderen um eine halbe Wellenlänge verschoben ist, Wellenberg steht gegen Wellenthal, die Ordinaten subtrahiren sich durchgehend. Für jede Phasenverschiebung gilt übrigens die Gleichung

---

$$y' = a \frac{2\pi}{T} \cos \frac{2\pi t}{T} + b \frac{4\pi}{T} \cos \frac{4\pi t}{T}.$$

$$y'' = -a \frac{4\pi^2}{T^2} \sin \frac{2\pi t}{T} - b \frac{16\pi^2}{T^2} \sin \frac{4\pi t}{T} \text{ oder}$$

$$y'' = -\cdot \frac{4\pi^2}{T^2} \sin \frac{2\pi t}{T} \left(a + 8b \cos \frac{2\pi t}{T}\right)$$

$$y'' \text{ wird 0 für } x = \frac{T}{2} \text{ und für } a = 8b \text{ wenn } \frac{2\pi t}{T} = \pi$$

so lange also $a >$ als $8b$ kann der zweite Wendepunkt nicht eintreten.

$$A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}+\Phi\right)=a \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}+\varphi\right)+a' \sin 2\pi\left(\frac{t}{T}+\varphi'\right) \quad (7)$$

wo sich der Ausdruck links durch die Gleichungen

$$A \sin 2\pi\Phi = a \sin 2\pi\varphi + a' \sin 2\pi\varphi'$$
$$A \cos 2\pi\Phi = a \cos 2\pi\varphi + a' \cos 2\pi\varphi'$$

bestimmt.*

Töne verschiedener Höhe geben nicht mehr eine so vollkommene Interferenz.

Bei Intervallen bis zur Quint kann noch die Amplitude des tieferen Tons unter die ihm zukommende Amplitude herabgedrückt werden, aber im Verlauf der Welle des Theiltons 1 muss sowohl eine Addition wie Subtraction stattfinden. Bei grösseren Intervallen ist die Welle des höheren Tons bereits relativ so kurz, dass eine Subtraction und Addition schon im Verlauf einer Welle des Grundtons stattfindet. Die resultirende Welle kann also nicht mehr eine geringere Amplitude als diejenige des Grundtons annehmen. Man macht sich dies leicht mit Hülfe einfacher Construction der drei Wellen klar.

Bei den Phasenverschiebungen ungleich hoher Töne ändert sich die Form der Welle bedeutend. Die positive und die negative Welle, welche ohne Phasenverschiebung die eine das Spiegelbild der anderen ist, hören auf symmetrisch zu sein. Die 0-Punkte verschieben sich, die Wellen-Berge und -Thäler verlagern sich und werden un-

---

* Die Gleichung 7 nach der Sinusregel aufgelöst giebt:

$$A\left(\sin\frac{2\pi t}{T}\cos 2\pi\Phi+\cos\frac{2\pi t}{T}\sin 2\pi\Phi\right)=a\left(\sin\frac{2\pi t}{T}\cos 2\pi\varphi+\right.$$
$$\left.\cos\frac{2\pi t}{T}\sin 2\pi\varphi\right)+a'\left(\sin\frac{2\pi t}{T}\cos 2\pi\varphi'+\cos\frac{2\pi t}{T}\sin 2\pi\varphi'\right) \text{ oder}$$

$$0=(a\cos 2\pi\varphi+a'\cos 2\pi\varphi'-A\cos 2\pi\Phi)\sin\frac{2\pi t}{T}$$
$$+(a\sin 2\pi\varphi+a'\sin 2\pi\varphi'-A\sin 2\pi\Phi)\cos\frac{2\pi t}{T}$$

setzen wir hier $t=0$, so wird

$$\sin\frac{2\pi t}{T}=0.\ \cos\frac{2\pi t}{T}=1 \text{ also}$$
$$A\sin 2\pi\Phi=a\sin 2\pi\varphi+a'\sin 2\pi\varphi'$$

setzen wir
$$t=\frac{T}{4}$$

so wird
$$\cos\frac{2\pi t}{T}=0.\ \sin\frac{2\pi t}{T}=1 \text{ also}$$
$$A\cos 2\pi\Phi=a\cos 2\pi\varphi+a'\cos 2\pi\varphi'$$

woraus zugleich die Richtigkeit der Gleichung 7 ersichtlich ist.

symmetrisch. Für das Auge wird diese Aenderung allerdings nur bei Combinationen innerhalb der Doppeloctav recht auffallend und auch hier können sehr viele verschiedene Wellenformen nicht erzeugt werden, weil kleine Phasenverschiebungen keinen recht sichtbaren Einfluss haben. Sobald jedoch mehr als zwei Töne combinirt werden, wird es auch dem besten Kenner derartiger Curven nicht möglich, sie ohne Messen und Rechnung einigermassen in ihre Componenten zu zerlegen.

Ein Bild solcher Phasenverschiebungen giebt die nachstehende Figur.



Fig. 6. *A* combinirte Welle, hervorgegangen aus dem 9. und 17. Theilton. Das Bild giebt die Phasenverschiebungen zwischen Grundton und Octav in allen Stufen, welche für das Auge erheblichere Unterschiede zeigen. Die Curve würde annähernd genau aus der Combination der beiden ineinander geschriebenen Toncurven *B* hervorgehen.

Die Combinationstöne.

Unter Umständen entstehen aus der Combination zweier Töne Wellen, welche complicirterer Art als diejenigen sind, welche wir bisher betrachtet haben. Die veränderte Form macht sich dem Ohr durch das Auftreten neuer Töne, der von SORGE zuerst entdeckten Combinationstöne bemerklich. Die bisher gegebenen Formeln und Curven sind unter der Annahme abgeleitet, es sei die Verschiebung der schwingenden Punkte so klein, dass nur die erste Potenz der Verschiebung auf die Bewegungsform von merklichem Einfluss sei. Wenn die durch den Anstoss bewirkte Verschiebung gross ist, so gewinnt auch das Quadrat der Verschiebung Einfluss auf die resultirende Bewegung. Die Kraft k, welche einen Punkt, der in der x Axe oscillirt, beherrscht, hat dann nicht mehr die Form

$$k = ay$$

von welcher die Bewegung bisher abgeleitet wurde, sondern

$$k = ay + by^2$$

wo a und b Constanten sind.

Tritt in Folge des Einflusses zweier Töne (Schallwellenzüge) die wir sin $(p\,t)$ und sin $(q\,t)$ nennen wollen, deren Schwingungszahl also p u. q per Sec. ist, eine entsprechend starke Verschiebung des schwingungsfähigen Punktes ein, so ergiebt die Rechnung (6. Beil. XII) dass die resultirende Bewegung durch eine grössere Reihe periodischer Glieder (Cosinusglieder) ausgedrückt werden muss, jedem dieser Glie-

der entspricht ein Ton. Die Reihe der Schwingungszahlen der Glieder ist $p, q, 2p, 2q, (p-q)$ $(p+q)$ $3p, 3q, (2p+q), (2p-q), (p+2q), (p-2q)$ $4p, 4q$ ... Nicht jeder dieser Töne muss gehört werden, manche sind verschwindend schwach oder liegen einander zu nahe um gesondert zur Wahrnehmung zu kommen, oder es fallen auch, z. B. für Grundton und Octav viele Glieder zusammen. Die nicht eingeklammerten Werthe sind identisch mit Theiltönen; unter den eingeklammerten Werthen gehören die aus den Differenzen entstandenen Schwingungszahlen Combinationstönen an, welche als Differenztöne bezeichnet werden, die anderen aus Summirungen hervorgehenden, bezeichnet man als Summationstöne.

Die Differenztöne hatte Hällström[2] in folgende Rubriken geordnet:

(Tab. II.) Töne	Combinationstöne	
p, q	$p-q$	1.
$p-q, p$	$2\,p-q$	2.
$2\,p-q, q$	$2\,(p-q)$	3.
$2\,p-q, p-q$	$3\,p-2q$	4.

und man spricht dementsprechend von Differenztönen 1., 2.....n. Ordnung. Sind neben den Grundtönen noch Theiltöne vorhanden oder durch die Combination entstanden, so werden sich auch Differenztöne der Obertöne bilden.

Die Summationstöne sind meistens recht schwach, sie sind von Helmholtz[3] entdeckt und waren ihm eine wichtige Handhabe, um den Nachweis zu führen, dass unser Ohr die Glieder, aus welchen sich eine combinirte Tonbewegung zusammensetzt, einzeln zu erkennen vermöge. Wenn neuerdings von Appunn[4] gefunden wird, dass der erste Summationston nicht auftritt, wenn unter sonst günstigen Bedingungen die zweiten Theiltöne $2p, 2q$ im Klang fehlen und der Summationston daher für identisch mit dem Differenzton $2p-(p-q) = p+q$ gehalten wird, so zeigt sich die Schwierigkeit des objectiven Nachweises des Summationstones, aber das genügt nicht, um den mathematischen Nachweis des Vorhandenseins von Summationstönen zu erschüttern.[5]

Allerdings ist es nicht allein die Grösse der Bewegung, von

2 Hällström, Ann. d. Physik. XXIV. S. 444.

3 Helmholtz, üb. Combinationstöne, Ann. d. Physik XCIX. S. 497, Monatsber. d. Berliner Acad. 22. Mai 1856.

4 Preyer's Combinationstöne, Sitzgsber. d. Jenaischen Gesellsch. 1878.

5 Neuerdings ist Preyer, akustische Untersuchungen 1879, Samml. 2. Reihe. 4. Heft, ausführlich auf diesen Gegenstand zurückgekommen. Ich bedauere die Ergeb-

welcher das Entstehen der Combinationstöne abhängt. Dieselben werden am leichtesten erzeugt, wenn die beiden Tonquellen rückwärts auf einen gemeinschaftlichen Resonanzraum (Windkasten der Sirene, Blasebalg der Pfeifen) wirkend, in innigste Wechselbeziehung treten. Die Wahrnehmung wird nothwendig durch die Intensität der combinirten Töne erschwert. Um die Differenztöne kennen zu lernen, empfiehlt es sich, sehr hohe Orgelpfeifen, deren Grundton unser Ohr schon relativ schwach erregt, zu combiniren, dann treten die tieferen Differenztöne überraschend stark hervor. Hat man so die Erscheinung kennen gelernt, wird man die im Voraus zu berechnenden Töne auch in niederen Lagen der Scala leicht finden. Uebrigens hört unser Ohr nicht selten (stets! nach PREYER) Combinationstöne, welche im Luftraum nicht vorhanden, daher durch Tonverstärkungsapparate nicht nachzuweisen sind. Dann entstehen die gehörten Bewegungen erst im Trommelfell, was bei Besprechung desselben erörtert werden wird.

Geräusche.

Die Analyse der Geräusche ist bis jetzt wenig ausgebaut. Die Lehrbücher der Physik enthalten darüber fast nichts und in der Physiologie hat man sich nur mit der Art, in welcher die Geräusche der Sprache erzeugt werden, eingehender beschäftigt. Für das Gehör sind jedoch die Geräusche eine sehr wichtige Quelle der Erregung. Da man nach den Erfahrungen mit dem BELL'schen Telephon weiss, dass freischwingende, dünne, membranartige Platten im Stande sind die Geräusche zu reproduciren, kann man mit Hülfe gut gedämpfter Membranen diese Bewegungen studiren. HELMHOLTZ[6] charakterisirt die Geräusche im Wesentlichen folgendermassen. Es zeigt sich im Allgemeinen, dass im Verlauf eines Geräusches ein schneller Wechsel verschiedenartiger Schallempfindungen eintritt. Das Rasseln des Wagens auf dem Pflaster, das Plätschern und Brausen der Wasserfälle und Meereswogen, das Rauschen der Blätter zeigt überall einen raschen und unregelmässigen aber deutlich erkennbaren Wechsel stossweise aufblitzender, verschiedenartiger Laute. Mit Hülfe

---

nisse seines Werks nicht mehr dem Text einfügen zu können, da derselbe bereits am 1. Jan. 1879 abgeschlossen und abgeliefert war.

PREYER findet, dass die Combinationstöne überhaupt nicht objectiv wahrnehmbar zu machen sind, da ihm der Nachweis mit den Mitteln, welche ihm am feinsten erscheinen, Resonatoren und sehr gut schwingenden Stimmgabeln, nicht gelang. Diese Töne müssen daher im Ohre (oder ähnlich gebauten Theilen) entstehen. Er bestätigt, dass der gehörte Summationston $(\alpha + \beta)$ sich bisher stets als Differenzton

$$n\beta - [(n-1)\beta - \alpha]$$

erkläre.

6 HELMHOLTZ, die Lehre von den Tonempfindungen. S. 14. Braunschweig 1870.

von Resonatoren kann man aus derartigen und anderen Geräuschen einzelne Töne deutlicher zur Wahrnehmung bringen, auch kann man Geräusche aus musikalischen Klängen zusammensetzen, z. B. wenn man sämmtliche Tasten eines Claviers innerhalb der Breite von einer oder zwei Octaven gleichzeitig anschlägt. Aus der unregelmässig wechselnden Empfindung des Ohrs bei den Geräuschen lässt sich schliessen, dass bei diesen auch die Erschütterungen der Luft eine unregelmässig sich verändernde Art der Bewegung sein müsse.

Diese Auffassung hat bisher nur Bestätigung erhalten; man muss sich also die Geräusche aufs innigste mit Tonschwingungen verbunden denken, die, längere oder kürzere Zeit aufblitzend, durch Pausen absoluter oder relativer Stille unterbrochen werden.

Man kann etwa drei Kategorien ungemischter Geräusche unterscheiden, nämlich 1) Schwebungen, 2) Knall, 3) zischende Geräusche, aber sie bilden Uebergänge untereinander und umfassen nicht alle Bewegungsformen der Geräusche, weil auch ganz kurz dauernde Tonschwingungen nur als Geräusch zur Wahrnehmung kommen.

Schwebungen.

Wenn periodische Bewegungen, welche in einem engeren Verhältniss als dem der Quint zu einander stehen, (also in einer Obertonreihe den benachbarten Theiltönen 3. und höherer Stelle angehören), gemeinsam erklingen und die Luft oder sonstige, für jede Mitschwingung geeignete Körper in Bewegung setzen, so entsteht die Erscheinung der Schwebungen. Innerhalb der Wellenlänge des zu den Theiltönen gehörenden *Grundtons* tritt nämlich eine derartige Interferenz der Bewegung ein, dass die Ordinaten im ganzen Verlauf von ein oder mehreren Wellen der betreffenden Theiltöne sich subtrahiren, also die Amplitude der aus den beiden Tönen sich zusammensetzenden Tonwelle eine geringere wird, wie diejenige der stärkeren der beiden Einzelwellen. Dafür tritt an einem anderen Ort der Welle des Grundtons, und zwar um eine halbe Wellenlänge von der Stelle der Schwächung entfernt (resp. um die Zeit einer halben Schwingung später) eine entsprechende Verstärkung der Partiarwelle auf. Diese Veränderungen in den Amplituden (resp. der Intensität) sind um so bedeutender 1) je näher die Schwingungszahlen der combinirten Töne einander stehen, 2) je mehr gleich die Amplituden beider Töne sind.

Die Art der Bewegung wird aus der folgenden Curve zu entnehmen sein.

Fig. 7. Interferenz der Theiltöne 50 und 51 mit nahe gleicher Amplitude. Die Wellenlänge des (fehlenden) Grundtons tritt sehr deutlich hervor.



Fig. 7.

Je nach der Häufigkeit mit welcher in der Zeiteinheit der Wechsel in der Amplitude eintritt ist die Wirkung auf unser Ohr verschieden. Bei langsamem Wechsel, bis etwa 10 mal die Secunde haben wir, abgesehen von einer kleinen Schwankung der Tonhöhe, die Empfindung rythmischer Schwellungen (Schläge) des Tons. Bei rascherem Wechsel tritt, wie Helmholtz (6. 8. Abschnitt) im Gegensatz zu früheren Ansichten, welche Differenztöne und Schwebungen für gleich hielten, erkannt und scharf betont hat, das Geräusch des Schnarrens, Knatterns, Knarrens, Schwirrens als Begleitung der Töne auf. Bei noch grösseren Geschwindigkeiten von 40 bis 130 Schlägen bleibt nur noch eine Rauhigkeit an den Tönen haften. Finden sich neben den schwebenden Tönen noch andere, so hängt es von den relativen Intensitäten ab, ob die Geräusche hervortreten. Die Erfahrung lehrt, dass auch in diesem Falle Schwebungen leicht bemerkt werden. Die einzelne Note eines Toninstrumentes kann schon Schwebungen geben, denn in einer Reihe von Theiltönen liegen diejenigen vom 8. angerechnet bereits so eng zusammen, dass bei ihnen in nicht zu grosser Tonhöhe Schwebungen sehr hörbar werden. Ausserdem fallen die unharmonischen Obertöne*, wie solche von den musikalisch weniger gebrauchten Stimmgabeln, Blechinstrumenten, Pauken u. s. w. erzeugt werden, untereinander und mit harmonischen Obertönen so nahe zusammen, dass starke Stösse resp. die oben genannten Geräusche entstehen.

In Fällen, wo die Instrumente einen starken, an Obertönen reichen, Schall geben, sowie bei verstimmten Accorden treten die Schwebungen lebhaft hervor. Dies ist z. B. bei aufschlagenden Zungenpfeifen, welche nach Helmholtz die Obertöne bis zum 16. und 20. stark hören lassen, in hohem Maasse der Fall. Dieselben haben einen sehr scharfen, schneidenden und schwirrenden Klang. Bei auf-

* Diese Töne verhalten sich bei den verschiedenen Instrumenten sehr ungleich, bei Stimmgabeln ungefähr wie die Quadrate der ungraden Zahlen, bei Glocken wie die Quadrate der Zahlenreihe. Wenn Scheiben, Schwingungen mit mehreren Durchmessern und Kreisen machen, so entstehen z. B. nach einer von Helmholtz (6. S. 123) gegebenen Tabelle in der Nähe des 6. harmonischen Theiltons drei unharmonische Töne, die kaum um das Intervall eines Vierteltons voneinander entfernt liegen.

gesetztem Schallbecher wird der Ton blöckend und bölkend, so dass die genannte Geräuschempfindung, welche den Ton fast überwältigt, vielleicht auf complicirte Schwebungsformen zurückzuführen ist.

Der Knall.

Es wird von Physikern [7] der Knall als eine augenblickliche Wirkung bezeichnet, nach deren Entstehung eine einzige, sehr rasche und starke Hauptbewegung vorhanden ist, doch sei Grund anzunehmen, dass diese von einer Reihe an Stärke schnell abnehmender Nebenschwingungen begleitet sei. Nach SCHMIDEKAM's [8] Untersuchungen bringt jede instrumentelle Berührung des Trommelfells die Empfindung des Knalls hervor. Wenn man das Ohrläppchen vor den Gehörgang legt und rasch anpresst entsteht ein dumpfer Knall, der stärker und höher sich wiederholt, wenn man den Gang plötzlich wieder freigiebt. Beobachtet man die Knallbewegung mit Hülfe einer vor KÖNIG's Kapseln brennenden Gasflamme (Vokalflamme) in dem rotirenden Spiegel (Fig. 28), so erkennt man, dass die feinen Kautschukmembranen, welche das ausströmende Gas von der erschütterten Luft trennen, mit mehreren, oft bis 10 Schwingungen, auf den Knall reagiren, deren erste bei weitem die grösste ist und ein sehr tiefes Wellenthal zeigt. Eine ähnliche Bewegung knüpft sich an die Verschlusslaute *p*, *b*, *k*, *t*. Die graphischen Darstellungen gestatten ein genaueres Studium; die Variation in Intensität und Schwingungsgeschwindigkeit sind sehr mannichfaltig, auch gesellen sich Theilwellen hinzu. Es dürfte dieser Geräuschgruppe eine grössere Bedeutung für unsere Gehörwahrnehmungen zukommen, als gewöhnlich angenommen wird.



Fig. 8.

Geräusche mit nicht sehr stark gedämpfter, schwach gespannter Membran geschrieben. Die Sinuscurve rührt von einer Orgelpfeife

7 MOUSSON, Die Physik auf Grundlage d. Erfahrung. Thl. 1. S. 306. Zürich, Schulthess 1871.

8 SCHMIDEKAM, Studien. Arbeit. d. Kieler physiolog. Instituts. Schwer. 1869.

von 200 Schwing. d. Sec. her. *A* Knall eines Zündhütchens mit secundären Wellen grosser Geschwindigkeit. *B* Knall durch zwei aneinander schlagende Holzplatten, *C* durch zwei Bücher erzeugt, die Wellen sind von etwas geringerer Geschwindigkeit. *D* das Wort *schoch*, worin das *o* von einer Tonhöhe, für welche die schwach gedämpfte Membran nicht abgestimmt war.

Zischen.

Die Zischlaute dürften zu den besonders unregelmässigen Bewegungen gehören, wie obige Curve, die jedoch noch durch Eigenschwingungen der Membran etwas untreu geworden ist, zeigt. Zischende Geräusche sind theils Reihen kleinster Explosionen (z. B. das in heisser Pfanne zischende Fett), theils unregelmässige Unterbrechungen leise tönender Luftströmungen (Zischlaute). Es ist wahrscheinlich, dass sehr rasche Schwingungen der Lufttheile beim Zischen mitwirken, solche werden durch die graphischen Apparate noch nicht genügend wiedergegeben. Wenn man Gas unter so starker Pressung aus einem Brenner strömen lässt, dass eine geringe Vermehrung der Pressung ein Brausen der Flamme verursacht, so tritt das Brausen sogleich ein, wenn man zischt. Diese sog. sensitiven Flammen zeigen dann dieselbe Erscheinung, wenn man sehr hohe Töne auf sie einwirken lässt. Wenn also nicht etwa eine grosse Unregelmässigkeit der Luftbewegung, auch wenn sie langsam geschieht, das Ausströmen des Gases stört, was immerhin möglich wäre, so würde die sensitive Flamme das Vorhandensein rascher Schwingungen in den Zischlauten erweisen.

Die Funktionen des Gehörs.

Man kann an dem Gehörorgan als physiologisch-anatomische Gruppen unterscheiden:

1) Den die Schallbewegung empfangenden und übertragenden Apparat, bestehend aus dem äusseren und mittleren Ohr.

2) Den die Schallbewegung analysirenden und in Nervenerregung umsetzenden Apparat, das Labyrinth.

3) Den die gesetzte Erregung empfindenden und wahrnehmenden Apparat, den Nerv. acusticus und dessen Verbreitungsbezirk im Gehirn.

Diese Eintheilung giebt die Grundlinien für den Gang der nachfolgenden Darstellung.

ERSTES CAPITEL.

Die Functionen des äusseren u. mittleren Ohrs.

Ein Ueberblick über die phylogenetische Entwicklung der Theile ergiebt, dass bei Akalephen, Würmern und Mollusken, auch bei vielen Fischen keine Einrichtung gefunden ist, welche dem mittleren Ohr functionell an die Seite zu stellen wäre. Bei den höheren Krebsen findet sich, soweit nicht die Hörapparate frei an der Oberfläche stehen, entweder (Makruren) eine freie Communication des Gehörbläschens mit dem Wasser oder (Brachyuren) es sind die geschlossenen Hörbläschen an bestimmter Stelle nur durch eine dünne Haut vom umgebenden Medium getrennt.[9]

Bei den Heuschrecken finden sich membranartige Bildungen (Acridier)[10] und selbst Hohlräume, die der Schall zu durchlaufen hat, ehe er die Membran und durch diese die Endapparate trifft (Locustiden)[11].

Bei manchen Fischen sind Zuleitungsapparate beschrieben worden, theils Kanäle, die vom Labyrinth bis dicht an die Haut führen — Selachier —, theils solche von der Schwimmblase zum Labyrinth, endlich bewegliche Knochenreihen zwischen beiden — Karpfen —, doch ist die Deutung nicht sicher zu geben.[12]

Bei vielen Amphibien und Reptilien bildet eine, mit knorpeliger oder knöcherner Lamelle (Operculum) geschlossene Fenestra ovalis den ganzen Zuleitungsapparat. Bei anderen Thieren dieser Classen und bei den Vögeln tritt Trommelfell, Columella, Paukenhöhle und Tuba Eustachii hinzu.[13]

Bei Reptilien und Vögeln tritt zuweilen ein äusserer Gehörgang auf; die Function desselben dürfte mehr die einer Ohrmuschel sein.

---

9 Hensen, Stud. üb. d. Gehörorgan d. Dekapoden. Ztschr. f. wissensch. Zool. XIII. S. 319.

10 Entdeckt von v. Siebold, am genauesten beschrieben v. Osc. Schmidt, Arch. f. microscop. Anat. II. S. 195. 1875.

11 Hensen, Gehörorg. v. Locusta. Ztschr. f. wissensch. Zool. XVI. S. 170.

12 E. H. Weber, de aure et auditu hominis et animalium. Lips. 1820 hat diese Bildungen der Mehrzahl nach entdeckt und für die Schallzuleitung in Anspruch genommen, doch hat Hasse, Anat. Studien. S. 583. Leipzig, Engelmann, 1873 diese Ansicht nicht bestätigen, aber auch nicht völlig eliminiren können.

13 Joh. Müller, Handb. d. Physiol. II. S. 414. Coblenz 1840.

Am ausführlichsten sind neuerdings diese Verhältnisse von Hasse (12) besprochen.

Auffallend ist, dass das Operculum bei den Urodelen mit dem Ende, welches bei den höher entwickelten Thieren im Trommelfell inserirt ist, häufig mit dem Os quadratum so fest verwächst, dass an eine isolirte Schwingung dieses Theiles nicht gedacht werden kann.[14]

Bei den Cetaceen gehen äusserer Gehörgang und Trommelfell verloren, dagegen entwickeln sich Lufträume in der Tuba und es geht eine membranöse Lamelle von den Resten des Trommelfells aus durch die Paukenhöhle in senkrechter Richtung gegen das Foramen ovale; diese vertritt das Trommelfell. An diese Lamelle inserirt sich der sehr massive Hammer. Das Labyrinth ist durch Luft und Fett sorgfältig isolirt.

Bei manchen Säugethieren ist die Paukenhöhle zu einem grossen Hohlraum — bulla ossea —, der häufig als Resonanzraum aufgefasst wird, umgestaltet. Dabei macht der ganze Bau der Theile mehr den Eindruck des zarten und vollendeten, als derjenige vom Menschen und den Affen der alten Welt.

Bei Insectivoren und einigen Nagern tritt durch den Steigbügel hindurch die Carotis externa, eine für die Physiologie des Ohrs ziemlich unverständliche Eigenthümlichkeit.

Indem ich die Verhältnisse an Präparaten prüfe, werde ich geneigt, die functionelle Entwicklung etwa wie folgt zu präcisiren.

Es wird erstrebt den Schallwellen einen einzigen Weg zum Labyrinth anzuweisen. Dies erfordert bei Wasserthieren besondere Isolirung und scheint schwer erreichbar. Bei Landthieren ist durch die Columella eine sehr vollkommene Isolirung erreicht, zugleich wird der Apparat leichter und zarter gebaut, je ausschliesslicher der Aufenthalt in der Luft genommen wird (Vögel). Bei den Säugethieren wird das in dieser Richtung Erreichte theilweise wieder aufgegeben, da hier mehrere oft recht plumpe Gehörknöchelchen, die weniger vollkommen isolirt sind, hinzutreten. Dadurch wird neben grösserer Festigkeit eine erhebliche Dämpfung, sowie die Möglichkeit gewonnen, durch Muskelkräfte einen Wechsel der Spannungen zu bewirken.

I. Die Ohrmuschel.

Von den Functionen der Wärmeregulirung und der mimischen Thätigkeit des Ohrs wird hier abgesehen. Die auffallenden Bewegungen der Ohrmuschel vieler Thiere, z. B. des lauschenden Pferdes,

---

14 R. Wiedersheim, Das Kopfskelett der Urodelen. S. 134 u. 153. Leipzig, Engelmann 1877. Abdr. a. d. Morph. Jahrb. III.

15 Claudius, Physiol. Bemerkungen über das Gehörorgan der Cetaceen. Kiel. Schwer. 1858.

war Veranlassung die acustische Function dieses Theils zu untersuchen. Es entstand die Frage, ob die Wahrnehmung der Richtung der Schallquelle, ob ferner eine bessere Zuleitung des Schalls zum Trommelfell durch die Muschel vermittelt werde. Die dafür sprechenden Resultate der Untersuchungen lauten zweifelhaft, die dagegen sprechenden sind präciser.

Esser[16] wies bereits nach, dass eine Reflexion der Schallstrahlen von den einzelnen Theilen der Ohrmuschel überwiegend zu einem Eindringen derselben in den Gehörgang nicht führe. Harless[17] fand, dass durch festes Einsetzen eines ½″ langen Glasrohrs in den Gehörgang die Schallwahrnehmung selbst dann nicht geschwächt würde, wenn der Schallerreger weit ausserhalb der Richtung der Axe des Gehörgangs lag. Mach[18] hat ein Ohr mit Gehörgang aus Gyps nachgeformt und mit Trommelfell versehen, er untersuchte dann mit einem akustischen Taster (ein zugespitztes Glasrohr, welches mittelst Kautschukschlauch in seinen Ohrgang gesteckt war), ob je nach der Schallrichtung verschiedene Theile des Trommelfells verschieden afficirt seien. Es fand sich kein Unterschied. Ueberdies hat derselbe Autor[19] nachgewiesen, dass bei so kleinen Flächen, wie die Muschel sie darbietet, sowohl auf Grundlage des Huyghen'schen Prinzips der Brechung und Reflexion, als auch nach von ihm ausgeführten Versuchen, von einer regelmässigen Reflexion einigermassen langer Tonwellen nicht die Rede sein könne. Schneider[20] hat die Ohrmuschel innen und aussen ganz mit einer Wachsmasse ausgefüllt und nur den Gehörgang frei gelassen. Der Ton erscheint dann bei geeigneter Richtung des Gehörganges eher verstärkt wie vermindert. Dagegen wird die Richtung der Axe des Gehörgangs für die Deutlichkeit der Wahrnehmungen von grösserer Wichtigkeit. Wenn sich aus seinen Beobachtungen etwas entnehmen lässt, ist es das, dass bei intakter Ohrmuschel die Richtung des Ohrs gegen die Schallquelle auf die Deutlichkeit der Wahrnehmung weniger Einfluss hat, als wenn der Gang mit scharfer runder Oeffnung mündet. Stets wird der Schall am deutlichsten vernommen, wenn er von der Seite her einfällt, auch bleibt es eine offene Frage, ob nicht Schwingungen von mehr als 1000 mal d. Sec. durch Reflexion an der Muschel concentrirt werden können.

---

16 Esser, Memoire. Annales des sciences naturelles. p. 1. 1832.
17 Harless, Artikel „Hören" in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. IV. 1853.
18 Mach, Bemerkungen üb. d. Function d. Ohrmuschel. Arch. f. Ohrenheilkunde. S. 72. 1874.
19 Mach u. Fischer, D. Reflexion u. Brechung d. Schalls. Ann. d. Physik. S. 421. 1873.
20 J. A. Schneider, Diss. Marburg 1855.

Rinne[21] experimentirte mit dem Picken einer Uhr bei mit Brodteig ausgefüllter Muschel, er fand

Hörweite	freie Muschel	gefüllte Muschel
Vorn	6′9″	2′3″
Rechts	7′2″	4′1″
Links	6′9″	5′8″
Hinten	4′9″	1′4″

so dass in diesem Fall der Einfluss der Ohrmuschel demonstrirt ist.

Es kann wenig in Betracht kommen, unter welchem Winkel das Ohr zum Kopf steht. Wenn Buchanan[22] nach Messung an 100 Individuen zu der Ansicht gekommen ist, dass stark abstehende Ohrmuscheln ein besseres Gehör bewirken oder anzeigen und wenn man bei Musikern in der That nicht selten abstehende Muscheln findet, so dürfte dies wohl auf den intensiven Gebrauch des Ohrs und seiner Muscheln zurückzuführen sein.

Harless (17) ist der Ansicht, dass die Ohrknorpel durch den Schall in Molekularschwingungen gerathen können und so eine Fortleitung der Schallbewegung in den Gehörgang hinein stattfinden könne. In den Versuchen von Schneider wäre diese Uebertragung jedenfalls sehr erschwert gewesen, eine unbefangene Prüfung lässt aber den Ausfall jener Fortleitung nicht erkennen. Die Versuche von Rinne sprechen dagegen für die Mitschwingung der Knorpel. J. Müller (13) findet, dass Pfeifen, welche mit einer Membran versehen sind und die Muschel berühren, merklich verstärkt gehört werden, auch mit dem Stiel an den Ohrknorpel gesetzte Stimmgabeln werden von hier aus ebensogut vernommen, als wenn sie in der Nähe des Ohrs auf die Kopfhaut aufgesetzt werden.

Die Muschel ist also wohl nicht ganz gleichgültig für die Gehörschärfe und die Gehörswahrnehmungen, aber ihre Leistungen sind klein.

II. Der Gehörgang.

Länge vom inneren Rande der Concha gemessen 24 mm., knorpliger, noch in der Haut liegender, mit Incisurae Santorini versehener Theil 8, knöcherner 16 mm. Durchmesser des ersteren 5 und 8, des letzteren 6 und 10 mm. Die Haut, im knorpeligen Theil mit glandul. cerumin. versehen, ist 1,5, am Trommelfell 0,1 mm. dick. Nerven: Ram. meat. audit. extern. vom Auriculo-temporal des Trigeminus und Ram. auricul. N. vagi. Bewegung des Kiefers bewirkt eine kleine Aenderung im Querschnitt des knorpligen Gehörgangs (17).

21 Rinne, Ztschr. f. rat. Med. (3) XXIV. S. 12. 1865.
22 Buchanan, Meckel's Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 468. 1828.

Der Gehörgang schützt das Trommelfell gegen von aussen drohende Gefahren. Er ist so gewunden, dass das Trommelfell in grader Linie nicht erreicht werden kann, wenn nicht der knorplige Gehörgang gestreckt und nach oben hinten gezogen wird. Der äussere Theil des Ganges ist von empfindlichen Wollhaaren bekleidet, leise Berührung derselben wird als lästiger Kitzel empfunden. Leise Berührung der mittleren Theile des Ganges erzeugt ein starkes Unlustgefühl, wie solches, die tieferen Theile der Mundhöhle kaum ausgenommen, an den anderen Ostien des Körpers nicht oder nicht so energisch und vom Vordringen abmahnend angetroffen wird (u. A. SCHMIDEKAM [8]). Unter Umständen kann sich dies Gefühl zu Uebelkeit und Ohnmachtsanfällen steigern. Weil ähnliche Zustände durch die Vagusäste des Magens hervorgerufen werden können, ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Ram. auricul. N. vagi diese Empfindung auslösen.

Während die innerste Abtheilung des Gehörgangs zwar fettig aber trocken ist, wird die äussere von Ohrenschmalz überzogen. Dies Excret ist eine Mischung von Sebum, Schweiss und Zellen der Epidermis und der Drüsen, nebst Härchen. Es enthält einen in Wasser löslichen, gelben, bitteren Stoff, der schon in den Schweissdrüsen gesehen wird und von dem zu sagen ist, dass er nicht die Reactionen von Gallenbestandtheilen giebt.[23] Nach PETREQUIN [24] hängt die Consistenz des Schmalzes von dem Gehalt an Kaliseifen ab. Eine direkte Beziehung dieses Stoffs zum Hörvermögen, an welche BUCHANAN und A. glaubten, ist nicht anzunehmen. Ausser dem Acarus folliculorum ist nur selten ein Thier (Insectenlarven, Sarcophaga sp.) im Gehörgang gefunden. Da derselbe so leicht zugängig ist und sein muss, mag das Cerumen einen Schutz gegen solche Eindringlinge abgeben. Normal häuft sich kein Sekret am Trommelfell an; was dieses davor schützt, ist unbekannt.

Durch die Länge des Ganges werden Trommelfell und Paukenhöhle gegen schroffen Temperaturwechsel geschützt. Nach MENDEL [25] ist der Gehörgang 0,3° niederer temperirt als der Mastdarm.

Resonanz des Gehörgangs.

Wenn ein Stoss die Luft vor dem Gehörgang trifft, wird der selbe ohne Schwierigkeit durch die Luft des Gehörgangs bis zum

---

23 KÖLLIKER, Microscop. Anat. II. S. 176. Leipzig, Engelmann, 1850 und BERZELIUS, Thierchemie übersetzt v. WÖHLER. S. 536. Leipzig 1840.

24 PETREQUIN, Compt. rend. I. S. 940. II. S. 987. Paris 1869. In dem härteren Cerumen der Greise findet sich mehr unlösliche Materie 17 : 12. Im Cerumen des Hundes, Kalk-, des Pferdes, Magnesia-Seife.

25 MENDEL, Arch. f. pathol. Anat. LXII. S. 132. 1875.

Trommelfell fortgepflanzt und von dort theilweise wieder nach aussen zurückgeworfen werden. Dieser Vorgang kann jedoch unter Umständen durch Bildung stehender Wellen eine Modification erleiden. Helmholtz (6. S. 175) hat nämlich darauf aufmerksam gemacht, dass gewisse hohe Töne im Ohre stark resoniren, was aufhört, resp. sich ändert, wenn man den Gang künstlich verlängert oder das Trommelfell anspannt. Es handelt sich hier also um Resonanz des Gehörgangs, aber dieselbe hängt nicht allein von dessen Länge und Weite, sondern auch von dem Zustand des Trommelfells vielleicht auch dem Luftraum im Cavum tympani ab.* Man hat bei diesen Tönen neben der grösseren Stärke eine schwirrende Empfindung im Ohr. Da man dieselbe Empfindung hat, wenn tiefere Töne äusserst stark (vom Windkasten der Sirene) in das Ohr geleitet werden (8), so wird letztere Empfindung auf grosse Excursionen des Trommelfells und der Gehörknöchelchen zu beziehen sein. Der Gehörgang wird allemal, wenn die betreffenden Töne in einer Klangmasse vorkommen, dieselben durch Resonanz verstärken. Wir werden daher solchen Schall in etwas anderer Weise vernehmen müssen, als er in der äusseren Luft vorhanden ist.

III. Cranio-tympanale Leitung.

An den Gehörgang knüpft sich eine für die Lehre von der Kopfknochenleitung wichtige Erfahrung.[26] Wenn man eine schwingende, ziemlich dicht an das Ohr gehaltene Stimmgabel eben nicht mehr hört, bemerkt man den Ton wieder, wenn man ihren Stiel an die Zähne setzt, verschwindet dann der Ton, so hört man ihn von neuem, wenn man den Gehörgang eines Ohres schliesst und zwar in diesem Ohr (Rinne[27]); verklingt er auch dann, so tritt er noch wieder auf, wenn der entsprechend geformte Stiel in den Gehörgang hineingeschoben wird.**

Die Eigenthümlichkeit, dass von den Kopfknochen aus die Gabel so gut gehört wird, hat man ursprünglich durch die Annahme einer directen Uebertragung der Schallwellen auf das Labyrinth, die

---

* Helmholtz (6) findet als Resonanzton für sein rechtes Ohr c^{IV}, für sein linkes f^{IV}, ich finde rechts d^{IV}, links a^{IV}, eine Frau hatte rechts f^{IV}, links g^{IV}. Durch Spannung d. Trommelfells konnte Schapringer (99) den Eigenton von 5340 auf 3700 Schwingungen herabsetzen.

26 Wheatstone, Quarterly Journ. of Science. N. S. II. 1827, hat, wie es scheint, die Beobachtung zuerst gemacht.

** Eine Stimmgabel von 1000 Schwingungen höre ich z. B. an den Zähnen 4″, nach Schluss des Ohrs weitere 4″, in den Gehörgang geschoben noch 1 bis 3″. Das Ohr muss natürlich gesund sein, auch ist zu bemerken, dass im Alter sich diese Wahrnehmungen verschlechtern.

scheinbar günstigste Bedingung intensiver Tonzuleitung, erklären wollen. Diese Ansicht kann nicht aufrecht erhalten werden. RINNE[27] wies nach, dass eine Verengerung des Gehörgangs schon sehr merklich, ein vollständiger Verschluss des Ohrs ohne Compression der Luft im Gange, am lebhaftesten die Verstärkung des Gehöreindrucks hervorrufe. LUCAE[28] hat durch directes Experiment mittelst graphischer Methode, nach dem Vorgang von POLITZER, nachgewiesen, dass Trommelfell und Gehörknöchelchen bei Zuleitung des Tons vom Warzenfortsatz in Schwingung gerathen und zwar am stärksten bei uncomprimirter Luft. POLITZER[29], welcher über den Gegenstand viele Experimente gemacht hat, weist darauf hin, dass der Proc. Folianus des Hammers (der ja in der That im Alter fehlt) bei der Knochenleitung aufs Tympanum wirksam sein dürfte. Er hat deutlich nachgewiesen, dass der Ton nicht direct von den Schädelknochen zum Os petrosum, sondern auf dem Umwege: Trommelfell, Gehörknöchelchen, Foramen ovale dorthin gelange. Das Labyrinth wurde nämlich mit Luft gefüllt, wieder verschlossen und vom Porus acusticus internus aus auscultirt. Der von dem Knochen aus zugeleitete Ton wurde schwächer gehört, sobald das Ambos-Steigbügel-Gelenk getrennt wurde, darauf konnte die Wahrnehmung des Tons deutlich verstärkt und geschwächt werden, wenn der Ambos abwechselnd an den Steigbügel angelegt und wieder entfernt wurde. Nach SCHMIDEKAM (8) ist die Tonwahrnehmung vom Schädel aus besonders gut bei völlig mit Wasser gefülltem, äusserem Gehörgang.

Da die Knochenleitung unbestreitbar zu einem sehr erheblichen Theil durch den Apparat der Paukenhöhle zu dem Labyrinth geht, dürfte es richtig sein den Ausdruck cranio-tympanale Leitung für den Vorgang festzuhalten. In wie weit eine directe Knochenleitung Gehörempfindung hervorbringt, ist noch unerforscht.

Die Wirkung eines lockeren Verschlusses des Gehörgangs wollte RINNE dadurch erklären, dass hier die störende Reflexion der Tonwelle an der offenen Mündung vermieden werde; jedoch die Reflexion an geschlossener Mündung kann ebensowohl zu Störungen durch Interferenz der Wellen führen. MACH[30] hat dagegen durch Auscultation den Nachweis geführt, dass bei Knochenzuleitung der Ton

27 RINNE, Prager Vjschr. f. pract. Heilk. I. S. 71. 1855.

28 LUCAE, a) Arch. f. pathol. Anat. XXV. S. 332. 1862. b) TRÖLTSCH's Arch. f. Ohrenheilkunde I. S. 303. 1864. Ferner über diese Frage c) Centralbl. f. d. med. Wiss. 1863. No. 40, 41. d) daselbst 1865. No. 13 und Arch. f. pathol. Anat. XXIX. S. 33. 1864.

29 POLITZER, TRÖLTSCH's Arch. I. S. 318. 1864.

30 MACH a) Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. S. 283. 1863. b) ebenda 2. Abth. S. 342. 1864.

mit erheblicher Stärke aus dem Gehörgang heraus in die Luft entweiche, und er wie POLITZER finden in der Verhinderung dieses Austritts den Grund der verstärkten Schallwahrnehmung bei Verschluss des Ohrs. Wird durch stärkeren Druck auf die Luft des Ganges, das Trommelfell aus der normalen Stellung gebracht, so wird der Ton wieder schwächer gehört, was nach dem Gesagten nicht mehr auffallen kann.

Wenn Schallwellen vom Knochen aus sich dem mittleren Ohre stark mittheilen, so wird dieser Process auch in umgekehrter Richtung vor sich gehen müssen. Wirklich findet MACH, dass der in ein Ohr dringende Ton aus dem anderen wahrnehmbar herausklingt. Daraus ist zu entnehmen, dass die noch so vollkommene Verschliessung eines Ohres niemals das Vermögen desselben, äussere Tonquellen wahrzunehmen, aufheben kann, so lange das Trommelfell des anderen Ohres frei functionirt.

IV. Die Functionen des mittleren Ohrs.

Im Bereich des mittleren Ohrs werden die akustischen Schwingungen der Luftmoleküle auf den festen Leitungsapparat übertragen und von diesem dem Labyrinth zugeführt. Die anatomischen Theile, welche direct für diesen Process zur Verwendung kommen, sind das Trommelfell und die Gehörknöchelchen. Accessorische Bedeutung haben dabei die Trommelhöhle, die Muskeln der Gehörknöchelchen und die Tuba Eustachii, welche später besprochen werden.

1. *Bau des Trommelfells und der Kette der Gehörknöchelchen.*

Indem die bis jetzt als functionell wichtig erkannten Einrichtungen dargelegt worden, ist die allgemeine Bekanntschaft mit dem Bau der Theile vorausgesetzt.*)

---

* Die zahlreichen anatomischen Nachweise werden hier vereint im Voraus zusammengestellt:

31 JOSEF GRUBER, D. feinere Bau d. Ringwulstes am Trommelfell. Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 2. Berlin 1869.

32 HELMHOLTZ, D. Mechanik d. Gehörknöchelchen u. d. Trommelfells. Arch. f. d. ges. Physiol. I. S. 1.

33 TRÖLTSCH, Beitr. z. Anat. d. menschl. Trommelfells. Ztschr. f. wiss. Zool. 1858.

34 HYRTL, Vergl. anat. Unters. üb. d. innere Gehörorgan. Prag. Ehrlich. 1845.

35 TRAUTMANN, D. gelbe Fleck am Ende des Hammergriffs. TRÖLTSCH's Arch. S. 99. 1876.

36 GERLACH, microsc. Studien a. d. Gebiet d. menschl. Morphologie. Erlangen, Enke, 1858.

37 TOYNBEE, On the structure of the Membrana tympani. Philosophical Transactions 1851.

38 KESSEL, D. äussere u. mittlere Ohr in STRICKER, Lehre v. d. Geweben. Leipzig, Engelmann. 1872.

Das Trommelfell inserirt sich in einer Rinne des Knochens, welche mit Faserknorpel ausgelegt ist ([31]). Die Rinne, welche oben offen und mit dem RIVINI'schen Ausschnitt (HELMHOLTZ [32]) versehen ist, verläuft spiral, so dass der Trommelfellansatz hinten oben mehr lateral steht, wie vorn oben. Ein durch den Trommelfellansatz gelegtes Planum schneidet die Axe des Gehörgangs in einem nach unten offenen Winkel von etwa 150°. Das Planum beider Ohren convergirt in der Weise, dass es sich unten unter einem Winkel von 125 bis 135°, nach vorn unter spitzem Winkel schneiden würde. Oben, wo die Knochenrinne fehlt, geht die Haut des Gehörgangs mit etwas verstärkten Faserzügen ohne Absatz als Membr. flaccida Shrapnelli bis zum Proc. brevis mallei heran.

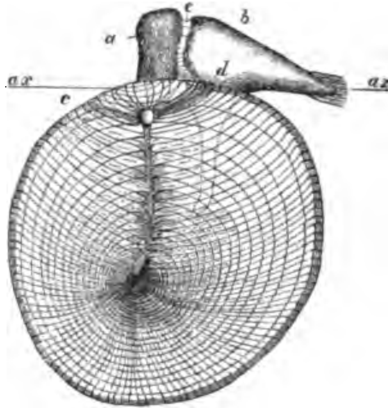


Fig. 9. Schematische Darstellung der Fläche des linken Trommelfells vom Gehörgang aus, viermal vergrössert. Der dunkelste in der Tiefe liegende Theil ist der Umbo. *a* der Hammerkopf, der helle Fleck darunter sein Proc. brevis sc. obtusus, zwischen ihm, dem oberen Rande des Trommelfells und *c d* liegt die Membr. flaccida. *b* Ambos, dessen langer Fortsatz durchscheint, *e* Hammer-Ambosgelenk. *a x* Drehungsaxe der beiden Knochen.

Die längere Axe der ovalen Trommelfellringebene geht von hinten oben nach vorn unten und misst 9,5—10 mm., die kurze, darauf senkrechte, 8 mm. ([33]) Abgesehen von dem ganz modificirten Trommelfell der Cetaceen, schwanken die für verschiedene Säugethiere angegebenen ([34]) grössten Durchmesser zwischen 17 (Löwe) und 1,6 mm. (Hufeisennase).

---

39 PRUSSACK, Zur Anat. d. menschl. Trommelfells. TRÖLTSCH's Arch. III. S. 255. 1867.

40 BRUNNER, Beiträge z. Anat. u. Histologie d. mittleren Ohrs. Leipzig, Engelmann. 1870.

41 GRUBER, anat.-physiol. Studien üb. d. Trommelfell u. d. Gehörknöchelchen. Wien, Gerold. 1867.

42 POLITZER, Wochenbl. d. k. k. Gesellschaft d. Aerzte. Wien. 1868 (nicht eingesehen).

43 RÜDINGER, Notizen üb. d. Histologie d. Gehörknöchelchen. Monatsschr. f. Ohrenheilkunde 1869.

44 URBANTSCHITSCH, Z. Anat. d. Gehörknöchelchen. TRÖLTSCH's Arch. XI. S. 1.

45 RÜDINGER, Beiträge z. Histol. d. Gehörorgans. München 1870. Auszüge in Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. 1871 u. 73.

46 BRUNNER, D. Verbindung d. Gehörknöchelchen. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkunde. 1873.

47 MAGNUS, Beitr. z. Anat. d. mittl. Ohrs. Arch. f. pathol. Anat. XX. 1861.

48 WEBER-LIEL, Verhandl. d. physiol. Gesellsch. Berlin, 2. Jan. 76.

49 EYSELL, Beitr. z. Anat. d. Steigbügels. TRÖLTSCH's Arch. V. S. 237. 1870.

50 HENKE, D. Mechanismus d. Gehörknöchelchen. Ztschr. f. rat. Med. 1868.

Das Trommelfell bildet einen nach dem Gehörgang zu geöffneten, schräg abgeschnittenen, unregelmässigen Trichter von etwa 125° Oeffnung, dessen Spitze (Umbo) an der Spitze des Hammergriffs liegt. Der untere Theil der Trichterwand, dessen Flächeninhalt fast ein Dritttheil des Ganzen ausmacht, steht nahe senkrecht zur Axe des Gehörgangs, der obere fast parallel derselben. Die Meridianlinien des Trichters springen etwas convex gegen die Höhlung desselben vor. Mit dem Hammergriff und zwar namentlich dem Ende desselben, verwächst das Trommelfell fest; seine Radialfasern gehen in das Perichondrium einer an der Kante des Hammergriffs liegenden Knorpelmasse ([35]) ein.

An der kaum 0,1 mm. dicken Membran kann man 6 Lamellen unterscheiden, von aussen nach innen 1) Epidermis, 2) Corium, 3) Lamelle der radialen, 4) Lamelle der circulären Fasern, 5) Schleimhaut mit eigenthümlichen Gefässpapillen, 6) Pflasterepithel. Beachtenswerth ist, dass die Lamelle mit Radialfasern sich recht leicht von derjenigen mit Circulärfasern trennen lässt. Erstere ist nach dem Umbo zu dicker, letztere ist hier nicht deutlich, an der Peripherie mächtiger, fehlt aber wieder dicht an der Knochenrinne ([36]). Die Radialfasern sind steife, an die Fasern im Faserknorpel erinnernde, sich nur unter spitzem Winkel an einander legende Bildungen, denen übereinstimmend eine geringe Dehnbarkeit nachgesagt wird. Nicht dasselbe gilt für die Circulärfasern, welche nach ihrer Loslösung sich verkürzen ([37]). Sie gehen nach Tröltsch ([33]) oberhalb des Proc. obtusus lateral, unterhalb desselben medial über den Hammergriff hin, ohne sich anzusetzen, doch sind die Autoren darüber verschiedener Ansicht ([38–42]). Elastisches Gewebe ist im Trommelfell kaum nachweisbar ([32]). Aus einer Spannung der Circulärfasern würde sich die trichterförmige Gestalt der Membran, die für das Lumen des Ganges zu gross ist, herleiten lassen. Das eigentlich die Form gebende ist jedoch der Hammergriff. Ueber die Mitte der Membran nach unten übergreifend, giebt er dem Umbo seine excentrische Lage, etwas gekrümmt und mehr in dem vorderen Abschnitt verlaufend, theilt er das mittlere Dritttheil des Trommelfells ungleich; endlich durch den Proc. obtusus das obere Dritttheil vortreibend, ertheilt er dem Ganzen eine recht unregelmässige Gestaltung. Helmholtz ([32]) hat jedoch durch die Methode der höheren Analysis gezeigt, dass die Form des menschlichen Trommelfells unter Annahme einer, durch Luftdruck allein gespannten Membran mit unausdehnbaren Radialfasern annähernd als Theil einer bestimmten Fläche 4. Grades sich darstellt.

Die Gehörknöchelchen zeigen bei den Säugethieren man-

ichfache Gestaltunterschiede (34). Bei den Cetaceen von massivstem nd am meisten gedrungenem Bau, sind sie bei den Nagern sehr zart; lie des Menschen stehen mehr auf eite der massiveren Formen. Aus ler Form der Knöchelchen sind ıber kaum Momente für die Physiologie zu entnehmen. Sie betehen aus spongiöser Substanz ınd sind mit ziemlich compacter Rindenschicht versehen.

Der Hammer steht mit der chmalen überknorpelten Kante eines, in sagittaler Richtung comprimirten, etwas gedrehten Manubriums im Trommelfell, nur am Knorpel des Proc. obtusus scheint lie Verbindung lockerer zu sein. Von letzterer Stelle aus biegt sich ler Hals des Hammers medialwärts stark ab. Hierher gehen vom Rande des Rivini'schen Ausschnitts aus Bandmassen, deren Verhältnisse physiologisch wichtig sind. Dieselben werden erläutert lurch die Fig. 11.

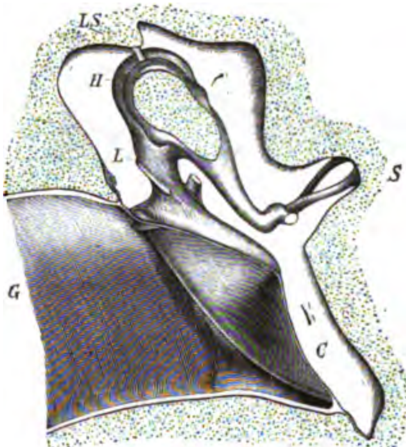


Fig. 10. Durchschnitt des Gehörgangs und der Trommelhöhle dicht hinter dem Hammerstiel und in der Richtung desselben, vom linken Ohr, viermal vergrössert. *G* Gehörgang, durch das Trommelfell gegen das Cavum tympani *C* abgegrenzt. *S* der Steigbügel mit seiner Nische und dem Sehnenansatz des Stapedius, das Foramen ovale liegt noch unverletzt nach vorn von der Schnittfläche. Die Schnittflächen des Knochens sind überall punktirt, ebenso die Fläche des Ambos wo der kurze Fortsatz desselben abgeschnitten ist, derselbe würde auf den Betrachtenden hin verlaufen sein. Am Amboskörper sieht man beiderseits die Sperrzähne vorspringen. *H* der Hammer, an dessen Halse bei *L* eine Leiste vorspringt, an welche sich die Ligamente ansetzen. An der Wand des Cavum tympani, der Leiste *L* gegenüber, sieht man die Reste dieser Ligamente. Zwischen dem langen Fortsatz des Ambos und dem Hammerstiel sieht man die Sehne des Tensor tympani. Umbo, Proc. obtusus und Membr. flaccida zwischen letzterem und der Wand des Gehörgangs sind ohne Signatur kenntlich. *LS* Ligamentum superius.

Unter dem von der Spina tympanica major entspringenden und zum Hammer verlaufenden Lig. anterius mallei der Autoren liegt der Processus Folianus, den ich mit Urbantschitsch (44) beim Erwachsenen noch ziemlich häufig finde, weiter unten verläuft die Chorda tympani. Das zweite, von Helmholtz (32) als Lig. mallei externum bezeichnete Band geht vom Rande des Rivini'schen Ausschnitts aus zum Hammer hinüber. Ueber diesem Bande und mit ihm parallel geht eine Schleimhautfalte von der Wand des Cavum tympani zu Ambos und Hammer, durch welche zwei als vordere und hintere Trommelfelltaschen bezeichnete Schleimhautausbuchtungen von einander geschieden werden. Ein Lig. superius Fig. 10 L. S. beschränkt die Beweglichkeit der Knöchelchen nach abwärts, wie überhaupt alle Bänder stärkere Bewegung der Knöchelchen in jeder Richtung ausschliessen. Helmholtz unterscheidet als Axenband des Hammers

die am weitesten nach hinten liegenden Fasern des Lig. externum (vergl. Fig. 11) zugleich mit dem vordersten innersten Faserzug des Lig. anterius auf Grund des Nachweises, dass 1) die einzelnen Faserzüge der Ligamente bei den Bewegungen des Hammers sich sehr verschieden spannen, also functionell voneinander geschieden werden können, 2) die Drehungsaxe des Hammers annähernd in der Richtung der genannten Fasern verläuft, 3) der vom Ambos gelöste Hammer selbst nach der Durchschneidung des Tensor tympani mit Hülfe der genannten Ligamente noch ziemlich gut in seiner normalen Stellung befestigt erscheint. Angesichts der ziemlich beträchtlichen Knickung gegeneinander, welche diese Bandtheile in der Regel aufweisen, ist es schwer dieser Ansicht über ihre Function völlig zuzustimmen. Vielleicht dürfte das Lig. externum nur als Hemmungsband gegen eine starke, medianwärts gerichtete, Bewegung des Hammerkopfes, und als Haftband gegen die Pressung, welche das Trommelfell auf den Proc. obtusus ausübt, aufzufassen sein.

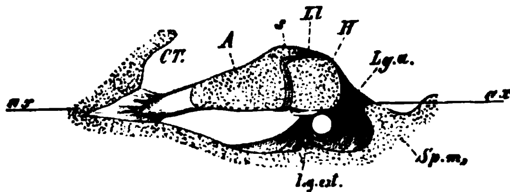


Fig. 11. Fast horizontaler Durchschnitt durch das Cavum tympani, *CT* des rechten Ohrs, viermal vergrössert. Der Schnitt geht dicht über dem Rivini'schen Ausschnitt senkrecht gegen die Ebene der Fig. 10 und um ein geringes höher wie die Linie *ax* dort, welche in dieser Fig. wieder angegeben ist. *H* medialer Rand der Schnittfläche des Hammerkopfs. *A* Ambos, dessen kurzer Fortsatz angeschnitten ist und durch Bandmasse befestigt mit der Spitze in seiner Knochennische ruht. Der mediale Gelenkzahn des Ambos ist von dem Schnitt grade getroffen. Von der Spina major, *Sp. m.* der Wand des Cavum tympani geht das Ligamentum anterius, *Lg. a.* zum Hammer sich bis zum Lig. laterale des Hammer-Ambosgelenks fortsetzend. Ueber dem Rivini'schen Ausschnitt geht zum Hammer ein Ligamentum externum, *Lg. ext.*, welches ähnlich wie das Lig. anterius aus einer hohen, rings in grösserer Ausdehnung von der Knochenwand entspringenden Fassermasse sich zusammensetzt. Die kanalförmige Oeffnung zwischen beiden Bandmassen führt auf die Membr. flaccida.

Der Hammer artikulirt mit dem Ambos durch ein etwas eigenthümliches Sperrgelenk, welches, nachdem schon Rinne ([27]) auf die Eigenthümlichkeit desselben aufmerksam gemacht, von Helmholtz eingehend beschrieben und zuerst physiologisch gewürdigt ist.* Denkt man sich vor das Gelenk des Ambos *A* Fig. 12 einen Cylinder *B* (etwa eine Wachskerze) senkrecht durch die Ebene des Papiers gehend gestellt, denkt man ferner diesen Cylinder, ohne von dem Ambosgelenk entfernt zu sein, um die Axe *ax* in der Richtung des Pfeils bis zur neuen Stellung *B'* gedreht, so wird sich die Gelenkfläche des

* Obgleich die physiologische Wahrheit der Darstellung von Helmholtz leicht zu bestätigen ist, gelang es mir nicht die anatomische Darstellung in Wort und Bild so zu verstehen und zu bestätigen, dass ich sie hier wiedergeben könnte. Die Beschreibung ist also den eigenen Präparationen entnommen worden, ich mache aber darauf aufmerksam, dass wahrscheinlich mancher Leser aus der von Helmholtz's Meisterhand gelieferten Beschreibung ([32]) ein besseres Verständniss gewinnen kann.

Ambos eine Gangfläche in den Cylinder, welcher den Hammerkopf repräsentiren möge, eingegraben haben. In dieser Weise ist in der That die Gelenkfläche zwischen Hammer und Ambos beschaffen. Solches Gelenk hat die Eigenthümlichkeit, dass es sich gegen jede in Richtung des Pfeils weitergehende Bewegung sperrt und dabei entweder eine Deformirung des Cylinders oder ein Mitnehmen des Ambos erfolgen muss, während der Rückwärtsbewegung in die alte Lage *B* natürlich kein Hinderniss erwächst. Die Theile, welche der Vorwärtsbewegung Widerstand leisten, werden als Sperrzähne bezeichnet. Sperrzahn des Hammers ist also die Cylinderfläche bei *S*. Sperrzähne des Ambos sind die beiden Ecken seiner Gelenkfläche Fig. 11 *s*. Eine Vergleichung der Figuren 11 und 12 unter Berücksichtigung der Drehungsaxe *ax* wird deutlich machen, dass der Hammerkopf sich nicht lateralwärts, oder was dasselbe ist, das Trommelfell sich nicht medialwärts bewegen kann, ohne die Gelenkflächen fest aneinander zu pressen, während Bewegung von Hammer und Trommelfell in umgekehrter Richtung durch die Form der Gelenke nicht gehindert wird und Ambos-Steigbügel nicht mit sich zu reissen braucht. Nach Helmholtz lässt sich der Hammer etwa 5° zurückdrehen ohne den Ambos mitzunehmen; dadurch wird die Gefahr beseitigt, dass der Steigbügel aus seiner Nische herausgerissen werde, weil das Trommelfell, das stärkste Band des Apparates, erschlafft, und die Bewegung nicht hindert. Diese Verhältnisse lassen sich sowohl am frischen wie am trocknen Knochen demonstriren, es ändert wenig, dass sich ein Meniscus von einer Seite her zwischen die Gelenkflächen einschiebt (Rüdinger [45]). Die Drehung setzt eine gewisse Schlaffheit der Gelenkbänder voraus; deren Fasern gehen, wie schon Brunner ([46]) andeutete, in der Weise schräg von einem Knochen zum andern (Fig. 12, *e*), dass sie bei der Rückwärtsdrehung erschlaffen. Die Kapsel, welche Ambos und Hammer verbindet, ist schwach, jedoch in den stumpfen Winkeln des Ambosgelenks (Fig. 9 bei *d*) liegen kurze dicke Seitenbänder. Die Stärke derselben erscheint bei mechanischer Prüfung geringer als sie wirklich ist, weil bei jedem Zuge die Gelenkfläche als Hypomochlion für einen langen Kraftarm wirkt, weshalb die Bänder leicht brechen; überdies trägt der Luftdruck

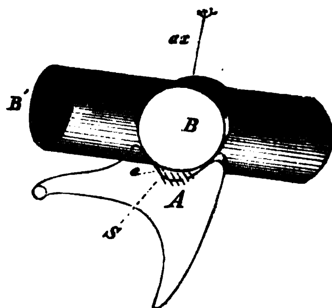


Fig. 12. Schema für die Bildung des Hammer-Ambos-Gelenks. Der Pfeil bei *ax* geht von rechts über der Ebene des Papiers nach links.

bei, die Entfernung der Gelenkflächen voneinander zu hindern. Bei den Thieren sind die Verhältnisse dieses Gelenks sehr wechselnd, bei den Meerschweinchen ist dasselbe völlig verknöchert ([34]), bei den Wiederkäuern sind die Flächen flach, dagegen die Gelenkbänder sehr massig ([19]).

Die Spitze des kurzen Ambosschenkels ist an der Wand des Cavum tympani durch einen mächtigen Bandapparat so befestigt (Fig. 11), dass sie den Knochen nicht berührt, sondern um 0,1 bis 0,2 mm davon absteht, durch Pressung jedoch der Knochenwand mehr genähert werden kann. Der ganze Apparat: Spitzenband — Ambos — Gelenk — Hammer — Lig. mallei anterius hat eine Zugrichtung, welche ziemlich nahe mit der faktischen Drehungsaxe *ax* zusammenfällt, doch bildet er einen nach aussen offenen, stumpfen Winkel. Zu dieser Abweichung von der Graden zwingt der Druck des Trommelfells auf den Proc. obtusus, sowie der Zug des Tensor tympani; beschränkt wird sie durch die Straffheit der Bänder selbst und durch das Lig. externum und superius. Bei Bewegungsversuchen findet sich, dass, während das Trommelfell einwärts geht, Hammerkopf und Amboskörper neben der Drehung um die Axe sich etwas senken und etwas nach rückwärts gehen, dass also eine völlig feste Axe für die Bewegung nicht hergestellt ist. Diese kleinen Verschiebungen dürften sich aus der ungleichen Länge der Radiärfasern zwischen Trommelfellring und Hammerstiel (Fig. 9) erklären. Helmholtz leitet die Verschiebungen aus der Lage des Axenbands des Hammers ab; diese Verhältnisse werden sich gegenseitig bedingen und modeln.

Der lange Schenkel des Ambos, welcher die Bewegung auf den Steigbügel zu übertragen hat, steigt in der Art nach abwärts (vergl. Fig. 9, 13.), dass ein vertikales Planum durch die Axe *ax*, die Spitze des Manubrium mallei, und durch beide Ambosschenkel gelegt werden kann. In Folge dieser Lagerung kann das Hammer-Ambos-System auf eine rechtwinklige Dreiecksfläche reducirt gedacht werden, dessen spitzwinklige Ecken an der Spitze des Manubrium mallei und des kurzen Ambosschenkels liegen, während die zwischen den beiden Punkten verlaufende Hypothenuse Fig. 13 *aa* die Spitze des langen Ambosschenkels tangirt. Der rechte Winkel liegt im Hammerkopf in der Axe *ax*, während die eine Kathete im Manubrium, die andere in *ax* verläuft.

Die Hypothenuse kommt als einarmiger Hebel zur Wirkung, das Hypomochlion desselben liegt an der Spitze des kurzen Ambosschenkels, die Spitze des langen Schenkels (Steigbügel!) ist Angriffspunkt der Last, die Spitze des Manubrium Angriffspunkt der Kraft, welche senkrecht auf die Ebene des Dreiecks wirkt. Weil keine völlig feste

Axe existirt, kann sich das Manubrium für kleine Bewegungen parallel mit sich selbst verschieben. HELMHOLTZ ([32]) hat die ganze Länge des Hebels *aa* zu $9^1/_2$ mm. gefunden, den kürzeren Arm zwischen den Ambosschenkeln zu $6^1/_3$ mm., daraus folgt, dass die Excursion der Last, also des Steigbügels, $^2/_3$ von der der Manubriumspitze, der Druck auf den Stapes $1^1/_2$ mal die Kraft, welche auf die Spitze des Manubriums wirkt, sein muss.

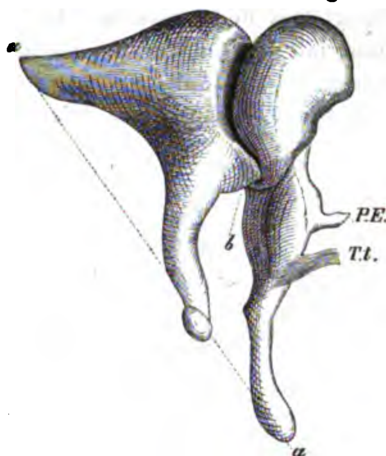


Fig. 13. Nach HELMHOLTZ, die Hebelwirkung der Gehörknöchelchen zeigend. *aa* Hypothenuse, *PE* Processus Folianus, *Tt* Tensor tympani, *b* Sperrzahn des Ambos; die Knöchelchen von der Paukenhöhlenseite gesehen.

Rechtwinklig und medialwärts geht von der Spitze des langen Ambosschenkels ein Knochenstäbchen ab, dessen verbreitertes Ende (Ossiculum Sylvii) dick überknorpelt eine convexe Fläche bildet, auf welcher der Steigbügel, durch einen Meniscus artikulirend, aufsitzt.

Der Steigbügel ist zart gebaut; es macht den Eindruck, als wenn geringe Masse eine Bedingung seiner guten Function sei. Sein Kopf ist durch starke Ligamente ([47]) und durch Sehnenfasern des Stapedius ([45]) mit dem Ambos verbunden.

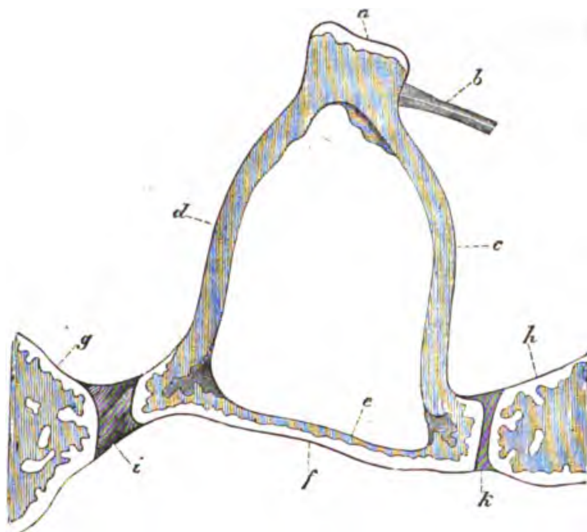


Fig. 14. Schnitt durch den Stapes nach EYSELL. *a* Stapesköpfchen, *b* Stapediussehne, *c* hinterer, *d* vorderer Schenkel, *e* Grundplatte, *f* Knorpelmantel, *g* vorderer, *h* hinterer Theil des Fensterrandes, *i* vordere, *k* hintere Seite des Lig. annulare proprium.

Die sehr dünne, mit Knorpel überzogene Basis sitzt in einem kurzen Knochenkanälchen, dem ovalen Fenster, dessen überknorpelte Flächen einer starken, von der Basis stapedis rings abgehenden, Annularmembran zum Ansatz dienen. Die Membran ist 0,14 bis

0,5 mm. dick; in ihrem vordersten Abschnitt, wo sie schräg verläuft, mindestens 0,1 mm., weiter hinten bis zu 0,015 mm. herab, breit. Der Steigbügel findet sich bei den Thieren stets in ligamentöser Verbindung mit dem Fenster, nur bei der Seekuh soll eine Verknöcherung eintreten (34), ein Fall der näherer Untersuchung bedarf.

Die Platte des Steigbügels hat eine eigenthümliche Form.

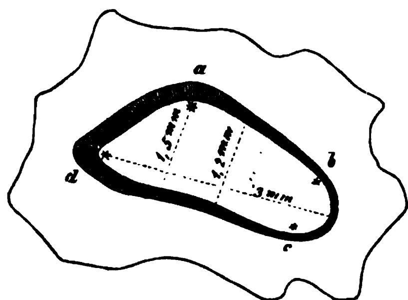


Fig. 15. Nach EYSELL: rechte Basis Stapedis in situ vom Vestibulum gesehen. *ab* obere, *bc* hintere, *cd* untere, *da* vordere Seite des Tritts.

EYSELL's Figur planimetrisch ausgemessen und nach den gegebenen Maassen reducirt, giebt als Fläche der Platte 2,65 □ mm., der Fenestra 3,8 □ mm., also der Annularmembran 1,15 □ mm.

Die Stempelbewegung der Platte wird $^2/_3$ der Bewegung im Umbo betragen müssen, doch findet sie eine Grenze in der Unnachgiebigkeit der Annularmembran. HELMHOLTZ hat theils direct durch, in die Membran eingepflanzte, als Fühlhebel dienende Nadeln, theils indirect, durch eine, in einen Halbcirkelkanal eingekittete, mit Wasser gefüllte Röhre, das Verschiebungsmaximum bestimmt und dasselbe zu 0,056 bis 0,073 mm. gefunden, eine Zahl, die anderweit (8) bestätigt wurde. HENKE (50) hat darauf aufmerksam gemacht, dass bei der Drehung des Hammers der lange Ambosfortsatz gehoben, somit die Steigbügelplatte etwa in der 3 mm. Axe Fig. 15 gedreht, und mit dem Rande *ab* in das Labyrinth hineingepresst werde. Obgleich die Drehpunkte, von welchen dabei ausgegangen wurde, nicht ganz richtig genommen sein dürften, ist die Thatsache einer, die Stempelbewegung begleitenden, kleinen Drehung der Platte richtig und mehrfach bestätigt (42. 8).

2. *Die Functionen des Trommelfells und der Gehörknöchelchen.*

Es ist die mechanische Aufgabe des Apparats, die Bewegung der, das Trommelfell treffenden Luftmoleküle, welcher grosse Amplitude aber geringe Kraft beizumessen ist, umzuwandeln in eine Bewegung von geringer Amplitude aber grosser Kraft, und diese Bewegung möglichst vollständig an die Labyrinthflüssigkeit abzugeben. Wir haben zu verfolgen wie diese Aufgabe erfüllt wird.

Ebene Membranen werden wegen ihrer, im Verhältniss zur Masse grossen Fläche, durch Stösse, welche sie auf der ganzen Oberfläche einer Seite treffen, leicht in Bewegung gesetzt, jedoch nur so lange

ihre Trägheit allein das der Bewegung widerstrebende Moment abgiebt. Kommen Bewegungshindernisse anderer Art hinzu, z. B. Befestigung der Membran, Anspannung oder Belastung derselben, so machen sich diese Einflüsse sehr kräftig in Bezug auf die resultirende Bewegung geltend. SAVART[51] fand bei Versuchen mit Membranen von mehreren Decimetern Grösse, dass sie für verschiedene Töne sehr leicht mitschwingen, und dass sich dabei, je nach der Tonhöhe derselben, Knotenpunkte und -Linien mannichfaltiger Art bilden. Bei kreisrunden Membranen finden sich als Knotenstellen Radien und Kreise. HELMHOLTZ (6. S. 70) giebt als Beispiel für die 5 niedrigsten Eigentöne einer solchen Membran folgende Verhältnisse für den Grundton = 1 an.

Grundton	1. Kreis	2. Kreis	1. Durchmesser	1. Durchmesser u. 1. Kreis	2. Durchmesser
1	2,29	3,599	1,59	2,92	2,14

Die Obertöne einer tönenden Membran sind also unharmonisch. Die Eigenschaft in verschiedene schwingende Abtheilungen sich zerlegen zu können, hat zur Folge, dass eine, aus einer Reihe harmonischer Theiltöne bestehende, Bewegung, von der Membran nicht so wird wiederholt werden können, wie die Luft sie ihr bringt. Es wird die Amplitude des einzelnen Theiltons (und überhaupt der Töne der Skala) um so mehr verringert wiedergegeben, je weiter sich seine Schwingungszahl von derjenigen des nächststehenden Theiltons der Membran entfernt, und dieser Abstand muss, weil die Theiltöne der Membran unharmonisch sind, für die verschiedenen harmonischen Töne der die Schwingung erregenden Bewegung sehr ungleich ausfallen (SEEBECK[52]).

Das Ohr bietet aber die An- und Abschwellung seiner Intensitätsempfindung, welche man nach Obigem erwarten sollte, nicht dar, wovon man sich mit Hülfe eines Fortepiano vergewissern kann. Es entsteht daher die Frage, wie sich diese Erfahrung mit den erwähnten Verhältnissen vereinbart?

A) Mechanik des Mitschwingens.

Zum Verständniss der Sache ist es nöthig auf die Mechanik des Mitschwingens, welche ohnehin für die Functionen des Labyrinths von grosser Wichtigkeit ist, näher einzugehen.

Bei dem Mitschwingen handelt es sich im Allgemeinen um eine

---

51 SAVART, MAGENDIE's Journ. de physiol. exper. et pathol. p. 183. 1824, und gleichlautend Ann. d. chim. et physique p. 1. 1824.

52 SEEBECK, DOVE's Repert. d. Physik. VIII. S. 63. 1849. Akustik. Referat u. theilweise Citat aus Ann. d. Physik. LXII u. LXVIII. S. 289 u. 449. 1844. u. 46.

mehr oder weniger weitgehende Summirung kleiner, von einem in Bewegung befindlichen Körper ausgehender, Stösse, durch einen zweiten Körper, welcher dieselben empfängt. Helmholtz ((5. S. 61)) giebt als Beispiel den Mechanismus der Kirchenglocken, bei welchen sehr grosse Massen durch kleine, periodisch angebrachte Stösse schliesslich in starke Schwingungen versetzt werden. Um die in einer Axe aufgehängte Masse in Bewegung zu bringen, genügt es, dass jeder neue Anstoss der, vom ersten Stoss mit sehr geringer Geschwindigkeit bewegten, Masse, eine Beschleunigung ertheile. Jeder Anstoss wird so lange die Geschwindigkeit der Glocke vermehren, bis ihre Elongation so gross geworden ist, dass die, zugleich mit der Elongation wachsende, Reibung, in der Zwischenzeit der Stösse die gewonnene Geschwindigkeit vernichtet. Ob längere oder kürzere Pausen beim Ziehen der Glocke eintreten, ist nur insofern von Bedeutung, als der Reibung mehr Zeit bleibt, die gesetzte Bewegung zu vernichten. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Periode der Züge sich nach derjenigen der Eigenschwingung der Glocke richte. Geschieht dies nicht, so summiren sich die Züge nur im Verlaufe kürzerer Zeit oder es findet gar keine Summirung mehr statt. Wenn die Züge doppelt (oder $^2/_3$) mal so rasch erfolgen wie die Schwingungen, hebt die Wirkung des zweiten Zuges sogar diejenige des ersten völlig auf. Der Fall des Auftretens von Pausen interessirt hier weniger, weil Derartiges bei dem continuirlich, aber in wechselnder Richtung wirkenden Andrang der, in Sinusschwingungen befindlichen, Luftmolekel nicht leicht vorkommt.

Die Theorie des Mitschwingens gaben Seebeck (52) und später Mach[53], sowie für den besonderen Fall des Mitschwingens von Stimmgabeln, unter Einwirkung des von einer zweiten Gabel unterbrochenen, einen Eisenkern umkreisenden galvanischen Stroms, Helmholtz (5. Beil. IX).

Wenn feste Körper in widerstehenden Medien, z. B. in Luft, schwingen, so ändern sich die Formeln (1) und (2) (v. S. 5) etwas. Wenn auf einer Membranfläche f die Luft mit dem Druck Df lastet, so wird, wenn sich die Fläche mit der Geschwindigkeit v bewegt, die Luft vor ihr um $\frac{kv}{c}$ verdichtet, hinter ihr um ebensoviel verdünnt. c bedeutet dabei die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls und k die specifische Wärmecorrection. Die Platte wird demnach

---

53 Mach, Zur Theorie des Gehörorgans. Sitzgsber. d. Wiener Acad. Math.-anat. Classe. Wien 1863.

von hinten den Druck $Df\left(1-\frac{kv}{c}\right)$

von vorne den Druck $Df\left(1+\frac{kv}{c}\right)$

$$= -2\,Df\,\frac{kv}{c}$$

erleiden. Der Unterschied ist die, der Bewegung sich entgegensetzende, Kraft. Bezeichnet man die durch die Masse M der Platte oder Membran dividirte Constante $\frac{2Dfk}{M}$ mit b, so ergiebt sich als einfachste Form der Schwingung die Gleichung:

$$y = e^{-bt}\,a \sin 2\pi \frac{t}{T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Hier ist e die Basis des natürlichen Logarithmensystems, die Werthe der anderen Bezeichnungen sind dieselben wie früher. Da der Divisor e^{bt} mit der Zeit in geometrischer Progression wächst, wird y rasch sehr klein. Ein in dieser Form schwingender Körper „klingt ab". Diese Schwingung, mit welcher er abklingt, bezeichnet man als den Eigenton des Körpers. Dieser ist ein wenig verschieden von demjenigen Ton, welchen er ohne Reibung und einmal angeschlagen geben würde und den man als Ton stärkster Resonanz bezeichnet. Die Schwingungszahl des letzteren ist gegeben durch den Ausdruck $\sqrt{\frac{a^2}{m}}$, die des ersteren durch den Ausdruck

$$\frac{1}{m}\sqrt{a^2m - \frac{1}{4}\,b^4}$$

wo m die Masse des schwingenden Punktes und a^2 die Elasticitätsconstante ist. Der Unterschied beider Ausdrücke kann vernachlässigt werden, sobald b klein ist.

Um einen solchen Körper für längere Zeit in Schwingung zu erhalten, bedarf es einer, während dieser Zeit einwirkenden, periodischen Kraft. Werde diese Kraft durch schwingende Luftmoleküle ausgeübt, so wird sie abhängig sein von deren Masse und periodischer Geschwindigkeit. Wir werden daher für dieselbe nach Formel (2) den Ausdruck

$$am\,\frac{2\pi}{T'}\cos 2\pi\,\frac{t}{T'}$$

bilden können. m bedeutet die Masse des schwingenden Lufttheilchens, T' dessen Schwingungsdauer. Dann wird die Gleichung* für die unter Einwirkung des Anstosses schwingende Masse werden:

* Die Gleichung resultirt aus der Integration der Differentialgleichung

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -a^2y - \frac{b^2dy}{dt} + C\sin 2\pi\,\frac{t}{T},$$

wobei ich die von Seebeck gegebene Form der Auflösung benutzt habe.

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T_1} + \vartheta\right) + e^{-bt} B \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \vartheta'\right) \quad \ldots . (9)$$

$$\text{wo } A = \frac{am}{\sqrt{\frac{\pi^2}{T^4 T_1^2}(T^2 - T_1^2) + b^2}}$$

$$\text{und tang } \vartheta = \pi \frac{(T_1^2 - T^2)}{bT^2 T_1}.$$

T_1 ist die Schwingungsdauer der Luft, T diejenige der Membran, von ϑ hängt die Phasenverschiebung der resultirenden Schwingung ab. Das zweite Glied rechts der Gl. 9 wird wegen des Coëfficienten e^{bt} rasch verschwindend klein. Bei genügend grossem b wird es nicht einmal die erste Schwingung stark beeinflussen. Wir gehen also auf die Bedeutung dieses Gliedes hier nicht ein. Sobald es verschwunden ist, schwingt die Membran in derselben Periode, wie der anstossende Körper, aber mit veränderter Phase und Amplitude. Letztere wird gross sein wenn $T_1 = T$ ist; dann fällt nämlich in dem für A gegebenen Werth das erste Glied im Nenner fort und es wird $A = \frac{am}{b}$. Immer wird die Amplitude durch die Dämpfung verkleinert. Aenderungen des Werthes

$$\frac{\pi^2}{T^4 T_1^2}(T^2 - T_1^2)$$

werden für eine Membran, so lange deren Spannung nicht wechselt, nur durch Aenderungen von T_1, also durch Erhöhung oder Vertiefung des erregenden Tons eintreten können. Wenn b gross ist gegen

$$\frac{\pi^2}{T^4 T_1^2}(T^2 - T_1^2)$$

wird eine Aenderung von T_1 wenig Einfluss auf die Grösse von A haben können. Es bleibt dann zwar die Amplitude immer recht klein, aber sie ist für verschiedene Töne gleicher Stärke nahe gleich gross. Wäre, um ein Beispiel zu geben, die Abstimmung einer Membran sehr hoch $T = 1/40000''$, so würden die Werthe von A für Töne zwischen $1/40$ bis $1/200''$ sich nicht erheblich und zugleich sehr continuirlich ändern. Noch mehr wird dies der Fall sein wenn gleichzeitig die Dämpfung stark ist.[54]

54 Von CHRISTIANI (Verhandl. d. physiol. Gesellsch. in Berlin, 18. April 1879) ist kürzlich die Theorie des Mitschwingens von Neuem der mathematischen Analyse unterworfen worden, und zwar besonders für den Fall, dass die Dämpfung gross genug sei, um die Bewegung, ähnlich wie bei den gedämpften und astatisirten Magneten (DU BOIS-REYMOND'S), grade aperiodisch zu machen. Er findet, dass für diesen Fall der Resonanzbereich $5^1/_4$ Octaven beträgt, wenn ein Zehntel der Maximalresonanz als obere und untere Grenze des Mitschwingens gilt. Dies für das Trommelfell ohne Accommodation angenommen, würde der Resonanzbereich $5^1/_4$ Octaven betragen, aber von der Mitte dieses Bereichs aus würde die Intensität des Mitschwingens nach oben und unten gleichmässig und allmählich bis auf $1/10$ heruntergehen, wenn das Trommelfell grade bis zur Aperiodicität gedämpft wäre. Die Arbeit konnte für den Text nicht mehr benutzt werden.

B) Anwendung der Theorie des Mitschwingens auf das Trommelfell.

Das Trommelfell ist den, über das Mitschwingen der Membranen gegebenen Regeln, unterworfen. Man kann sich also vorstellen, dass bei einer etwaigen phylogenetischen Entwicklung zur Wahl gestellt war, ob eine grosse Empfindlichkeit für einige Töne, neben grosser Unempfindlichkeit für andere benachbarte, für das Ohr zur Verwendung kommen könne, oder ob grosse Gleichmässigkeit, aber zugleich Unempfindlichkeit, des schallübertragenden Apparates vorzuziehen sei. Es würde ja denkbar sein, dass im Labyrinth oder Gehirn Einrichtungen geschaffen wären, welche die Ungleichmässigkeit der Uebertragung mittelst abgestimmter Membranen, durch Erhöhung und Verminderung der Empfindlichkeit der Endapparate, bis zu der thatsächlich vorhandenen Gleichmässigkeit der Intensitätsempfindung compensirten. Dann aber würde eine kleine Verstimmung des Trommelfells den ganzen Mechanismus aufs stärkste gefährden. Die Erfahrungen der Pathologen über Krankheiten des Trommelfells, und Versuche SCHMIDEKAM's ([5]) über das Hören, während das Trommelfell durch Berührung mit einer Sonde verstimmt war, lassen nicht erkennen, dass die eintretenden Störungen der Art sind, wie es letztere Annahme erfordert.

Ausserdem würde dabei durch Summirung der Stösse eine Eigenschwingung des Trommelfells eintreten können. Diese würde stattfinden, wenn die mittlere Amplitude der Membran, multiplicirt mit ihrer Masse, grösser würde, als die Amplitude der vor dem Trommelfell schwingenden Luftmolekel, multiplicirt mit deren Masse. In solchem Falle würden wir fast nur den, der Abstimmung der Membran entsprechenden Klang vernehmen, die Membran würde selbsttönend werden, was für die objectiven Wahrnehmungen sehr hinderlich sein müsste, und nicht beobachtet wird.*

Es ist also eine grössere Gleichmässigkeit mit grösserer Unempfindlichkeit des Apparates für den Menschen gewählt worden. Die dafür zu stellenden Anforderungen können in zwei Weisen befriedigt werden, nämlich durch sehr hohe Abstimmung, oder durch starke Dämpfung. Die erstere Weise, an die SAVART ([51]) gedacht hat, würde eine so hohe Abstimmung des Trommelfells erfordern, dass der entsprechende Ton ganz, oder beinahe, ausserhalb der für uns wahrnehmbaren Töne liegen müsste. Dann würde aber der Werth der Amplitude (A Formel 9) wegen des grossen Einflusses der Membranabstimmung T im Nenner, ein sehr geringer werden. Nach den Verhältnissen des Trommelfells kann eine hohe Abstimmung über-

* Bei ungedämpften Membranen hört man sehr leicht den Eigenton mitklingen.

haupt nicht angenommen werden. Je kleiner nämlich die Flächenausdehnung, je dicker und unnachgiebiger die Substanz und je grösser die Spannung einer Membran ist, desto höher wird ihr Eigenton sein.

Unser Trommelfell hat eine im Verhältniss zur Dicke nicht kleine Fläche, es ist zwar unnachgiebig, aber dafür ist seine Spannung eine sehr geringe, so dass kein hoher Eigenton zu erwarten ist. Wir kennen zwar seine Abstimmung noch nicht, aber die genannten Eigenschaften des Tympanum lassen sich genau nachweisen.

Als Gruber[55] die Spannung des Trommelfells untersuchte, fand er, dass das hintere Segment, namentlich im oberen Quadranten, besonders nachgiebig ist, dass kleine Einschnitte in die Membran nicht klaffen, und dass man den Hammer ganz aus dem Trommelfell lösen könne, ohne dass dieses seine Gestalt ändere. Diese Thatsachen lassen sich leicht bestätigen und möchte ich hinzufügen, dass der abgetrennte, dem Trommelfell wieder angelegte Hammerstiel sich diesem vollständig anfügt; ferner dass, sobald man am intacten Trommelfell den Hammer auch nur ein Minimum lateralwärts drückt, feine Radiärfalten, bei stärkerem Druck gröbere Circulärfalten entstehen; sobald aber Falten auftreten, ist schon die Stellung, in welcher die Membran gespannt ist, überschritten.

Demnach wirkt auf das Trommelfell kein äusserer Zug, sondern dasselbe wird in seiner Stellung lediglich durch seine Steifigkeit erhalten. Ein Goldschlägerhäutchen, auf einen Rahmen gespannt, benetzt und wieder getrocknet, hat eine durch aufgestreuten Sand leicht erkennbare Abstimmung. Dasselbe Häutchen, wieder befeuchtet und mit Hülfe eines Conus ähnlich gewölbt wie das Trommelfell, behält getrocknet, vermöge seiner Steifigkeit, diese Form. Prüft man es jetzt auf seine Abstimmung, so findet sich, dass dieselbe über zwei Octaven tiefer liegt wie im vorigen Fall. Es wird der Schluss erlaubt sein, dass auch das Trommelfell vermöge seiner trichterförmigen Gestalt eine relativ tiefe Abstimmung habe.*) Vielleicht erzeugt man seinen Eigenton, wenn man Luft in den Gehörgang fächelt. Der dabei auftretende Ton ist nicht genau zu bestimmen, aber kann gewiss nicht höher sein als 700 Schwingungen. Savart's Ansicht entspricht demnach nicht den wirklich vorkommenden Verhältnissen; ja es kann zweifel-

55 Gruber, Ueber d. normalen Spannungsverhältnisse d. menschl. Trommelfells. Monatschr. f. Ohrenheilkunde. No. 5. 1877.

* Der Resonanzton ist nach früherem $\sqrt{\frac{a^2}{m}}$, wenn, wie beim Trommelfell, die äussere Spannung wegfällt, hängt a^2 nur noch von der Steifigkeit der Membran ab ist also relativ zu m viel kleiner, als wenn noch die äussere Spannung bei den Schwingungen stark mitwirkte. Die Schwingungszahl des Resonanztons wird daher gering sein müssen.

haft sein, ob einer so unsymmetrischen Membran überhaupt eine präcise Abstimmung zukomme.

Eine starke, durch die Knöchelchen und das Labyrinthwasser bewirkte Dämpfung, bezeichnete SEEBECK ([52]) und nach ihm MACH ([53]) als die Ursache der Gleichmässigkeit unserer Tonwahrnehmung. In Folge solcher Dämpfung wird also die Amplitude der Schwingungen sehr verringert, aber es wird die Wirksamkeit einer Abstimmung der Membran in dem Maasse zurücktreten, wie die Dämpfung überwiegt. Je niedriger der Eigenton der Membran ist, desto geringer braucht die Dämpfung zu sein, um den Einfluss der Abstimmung zu eliminiren und die Bewegung, nachdem der Membran ein einzelner Stoss ertheilt ist, ähnlich wie bei einem gedämpften Magneten, aperiodisch zu machen.

Bei den etwas eigenthümlichen Verhältnissen des Schallleitungsapparates lassen sich die Bedingungen noch nicht so übersehen, dass eine genauere Ausbildung der von SEEBECK gegebenen Darlegung, namentlich was den Einfluss der etwa vorhandenen Theiltöne des Trommelfells betrifft, zu geben wäre. Der Einfluss der ungleichmässigen Nachgiebigkeit, der ovalen Gestalt und geneigten Lage des Trommelfells, sowie der unsymmetrischen Insertion des Hammerstiels, ist noch nicht geprüft. Diese Verhältnisse finden sich übrigens nach MOLDENHAUER[55] ähnlich bei Reptilien und Vögeln, und sind bei vielen Säugethieren mindestens so auffallend wie beim Menschen, dürften also nicht unwichtige sein.

Ueber den mechanischen Effect der Convexität der Trommelfell-Meridiane und über denjenigen der trichterförmigen Einziehung (die bei Vögeln zu einer Vorwölbung umgestaltet ist) hat HELMHOLTZ ([32]) Aufschlüsse gegeben. Er weist nach, dass eine relativ beträchtliche Verschiebung der Fläche des Trommelfells in Richtung des auf sie wirkenden Luftdrucks, eine verhältnissmässig kleine Verschiebung der Hammerspitze bedingt. Daraus folgt nach dem allgemeinen mechanischen Gesetz der virtuellen Geschwindigkeit, dass schon ein verhältnissmässig geringer Werth des Luftdrucks einer verhältnissmässig grossen, am Hammergriff angebrachten Kraft, das Gleichgewicht halten, beziehentlich eine solche ersetzen wird.

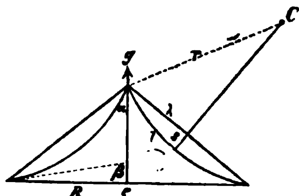


Fig. 16. Schematischer Durchschnitt des Trommelfells nebst Construction zur Erläuterung des Nachfolgenden.

Betrachtet man eine einzelne Radiärfaser des Trommelfells, deren

56 MOLDENHAUER, vergleichende Histologie d. Trommelfells. TRÖLTSCH's Arch. XIII. S. 113. 1878.

relative Unausdehnbarkeit angenommen wird, und nennt dieselbe l (Fig. 16); nennt man ferner die dazu gehörende Sehne λ und den Abstand der Mitte des Bogens von der Mitte der Sehne s, so wird die Gleichung

$$l - \lambda = \frac{8}{3} \frac{s^2}{l}$$

Geltung haben.

$l - \lambda$ ist die Grösse, um welche die beiden Enden des Bogens sich einander nähern, wenn letzterer sich stärker wölbt; es ist also auch die Bewegung, welche der Hammerstiel dabei machen würde, wenn er allein unter Wirkung der betreffenden Faser stände. s ist die Verschiebung der Mitte der Faser. Wenn nun s verschwindend klein ist im Vergleich mit l, so ist die Grösse $l - \lambda$ eine unendlich kleine Grösse zweiter Ordnung, verglichen mit s; letzteres wird sich also stark verändern müssen, wenn die Faserenden sich um etwas nähern und entfernen sollen.

Die Kraftverhältnisse findet Helmholtz aus folgender Betrachtung. Wenn man sich die überall gleichgekrümmte Faser l bis zum Halbkreis mit dem Radius r verlängert denkt und sie für jede Längeneinheit mit dem Druck p belastet, dann müssen die, die beiden Enden der Faser spannenden Kräfte, welche wir mit $2t$ bezeichnen, dem Druck das Gleichgewicht halten, der auf den ganzen Durchmesser des Halbkreises in gleicher Breite wie sie die Faser hat, ausgeübt wird, d. h. der Grösse $2rp$. Daraus folgt:

$$2t = 2rp, \text{ oder } t = rp.$$

Je grösser also r ist, desto grösser wird die, durch Aenderung des Luftdrucks auf die Faser bewirkte, Spannungsänderung derselben sein; diese aber ist es, welche die Schallerschütterungen auf den Hammer überträgt.

Bei Versuchen, die, in Folge einer Luftdruckschwankung auftretende Bewegung von Hammer und Trommelfell zu messen, welche so ausgeführt wurden, dass ein Manometer in den mit Wasser gefüllten Gehörgang eingesetzt, und vom Steigbügel aus die Bewegung veranlasst wurde, fand sich, dem Obigen entsprechend, dass die Fläche des Trommelfells wenigstens dreimal so starke Excursionen machte, als der Hammergriff, welcher sie in Bewegung setzte.

Die Wirkung aller Fasern des Trommelfells auf den Hammer ist von Helmholtz zunächst nur für eine regelmässig geformte Membran abgeleitet. Eine solche sei kreisrund, in der Mitte kegelförmig eingezogen und ringsum symmetrisch gestaltet, bilde also eine Rotationsfläche, deren Durchschnitt in der Fig. 16 gegeben sei. Ist eg die Axe, R der Radius des Randkreises, ferner α der Winkel, den

die in der Ebene der Zeichnung gezogene Tangente an der **Spitze** der Membran mit der Axe macht und β der Winkel, den die entsprechende Tangente eines **Randpunktes** der Membran mit der Axe macht, ist endlich p der Luftdruck, so findet sich die Kraft k, welche an dem Centrum der Membran angebracht werden muss um dem Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, aus der Formel

$$k = \frac{p \pi R^2 \cos \alpha}{\cos \alpha - \cos \beta}.$$

Je kleiner also der Unterschied zwischen α und β, d. h. je flacher gespannt die Membran ist, desto grösser wird die Kraft k. Aber die Kraft wächst auch, und zwar wie $\cos \alpha$, wenn die Winkel α und β bei gleichbleibender Differenz $\cos \alpha - \cos \beta$ kleiner werden, d. h. **wenn die Spitze der Membran stärker eingezogen wird.**

Um die akustische Wirkung solcher Membranen zu prüfen, construirte HELMHOLTZ den Apparat Fig. 17.

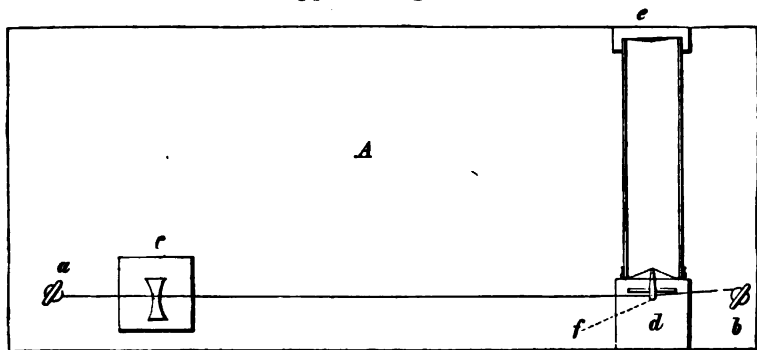


Fig. 17. Die dem Trommelfell ähnlich geformte Membran sitzt auf dem Cylinder *e*, vor demselben ist eine Saite *ab* ausgespannt, welche bei *c* behufs der Verkürzung des Stückes *bc* über einen Steg läuft, der auf einem Bleiklotz steht; letzteres um die Tonübertragung auf das Grundbrett *A* zu verhindern. Bei *f* ist ein Stäbchen zwischen Saite und Membran gestellt, welches durch einen Steg auf dem Bleiklotz *d* getragen wird und welches die Verbindung zwischen Membran und Saite herstellt.

Die Versuche ergaben, dass wirklich durch diese Verbindung der Ton derSaite sehr kräftig an die Luft übertragen wird, namentlich bei hohen Tönen (der viergestrichenen Octave). Umgekehrt überträgt sich leicht eine Tonbewegung in der Luft an die Saite, am besten wenn der Eigenton der Saite mit dem Eigenton der Röhre gleich ist; aber auch sonst kommen auf die Saite gesetzte Reiter von Papier leicht in Bewegung.

Die trichterförmige Gestalt des Trommelfells giebt zur **Entstehung von Combinationstönen und Theiltönen** im Leitungsapparat und Labyrinth Anlass. Es ist nachgewiesen, vgl. S. 15, dass man unter Umständen diese Töne hört, wo kein Hülfsmittel deren objektives Auftreten im Luftraum nachweisen lässt. Der Grund für die Umwand-

lung einfacher Tonbewegungen in diese complicirteren Formen liegt in Folgendem. Die Combinationstöne treten, auf wenn die Kraft k nicht mehr die Form hat:

$$k = ay$$

sondern

$$k = ay + by^2.$$

Letztere Gleichung fordert, dass für $-y$, d. h. bei der negativen Phase der Bewegung, die Kraft k nicht nur ihr Vorzeichen, sondern auch ihren absoluten Werth ändere; denn statt y $-y$ gesetzt, haben wir

$$k = -ay + by^2.$$

Bei stärkeren Excursionen muss sich das Trommelfell spannen wenn es nach einwärts geht, wirft dagegen Falten, wenn es die Ruhelage nach aussen zu merklich überschreitet. Dies Verhalten entspricht also den Bedingungen der 2. Gleichung und es führt insofern mit mathematischer Nothwendigkeit zum Auftreten der bei der Besprechung der Combinationstöne S. 15 gegebenen Tonreihe.[57]

Es erübrigt noch, die Dämpfung näher zu würdigen. Das Trommelfell hat an sich eine kleine Masse, zu deren Dämpfung ein nur kleiner Werth von b ausreichen würde. Jedoch insoweit es noch durch die Gehörknöchelchen belastet ist, tritt auch eine Vermehrung der in Rechnung zu ziehenden Masse des Systems ein. Nach Seebeck ist die Dämpfung gegeben 1) durch das Wasser des Labyrinths, 2) durch die Gehörknöchelchenkette. Die letzteren werden dämpfend wirken, weil sie durch Bänder gehalten und in ihren Mitschwingungen gehemmt werden. Da die Bänder, wie wir gesehen, relativ starke Theile sind, könnte die Ansicht berechtigt erscheinen, dass, da sie selbst eine Abstimmung* haben, diejenige des kaum gespannten Trommelfells dem gegenüber zurücktreten würde. Diese Abstimmung würde wegen der Kürze und Dicke der Bänder vielleicht sogar die, von Savart für den Leitungsapparat verlangte Höhe, haben können. Um die Verhältnisse zu prüfen, wurde von mir an eine trichterförmige Membran ein Metallstreifen als Hammer befestigt, und die Axe desselben durch kurze, kräftig zu spannende Eisendrähte hergestellt, s. Fig. 18. Die Abstimmung dieser Drähte ist eine sehr hohe, aber es lässt sich nicht nachweisen, dass die Wiedergabe hoher Töne bei dieser Einrichtung besonders begünstigt sei. Der Apparat wirkt aber sowohl als Logograph wie als Phonograph recht gut, was nur der Dämpfung zu verdanken ist. Immerhin hätte diese noch etwas stärker sein

57 J. J. Müller, Ueb. d. Tonempfindung. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. XIII. S. 115 hat eingehende Untersuchungen über die Veränderungen, welche ein Klang in Folge dieser Verhältnisse erleidet, gemacht, es handelt sich um sehr kleine Modifikationen hinsichtlich deren auf das Original verwiesen werden muss.

* Weiteres über diese Abstimmung siehe S. 49.

können, denn die Bewegung der angestossenen Membran war noch nicht aperiodisch. Daraus ergiebt sich, dass die Fesselung der Gehörknöchelchen, so stark die Bandmassen auch sind, gewiss nicht geringer hätte sein dürfen, dass aber eine scharfe Abstimmung des Apparats durch die Bänder **nicht** bewirkt wird.

C) Directe Beobachtungen der Schwingungen des Gehörknöchelchenapparats.

Es sind eine Reihe von Beobachtungen über die Schwingungen des Apparates in der menschlichen Paukenhöhle gemacht worden. Bei denselben ist hervorzuheben, dass die Muskelelasticität nothwendig gegen den normalen Zustand verändert war, und dass in der Regel die Tonwellen wegen Eröffnung des Cavum tympani, das Trommelfell auch von der inneren Seite, wenn gleich mit verminderter Kraft, trafen. Die Beobachtungen wurden mittelst Zuleitung des, stets sehr kräftigen Tons in den äusseren Gehörgang, angestellt, indem man entweder Röhren oder Resonatoren in ihn fest einfügte.

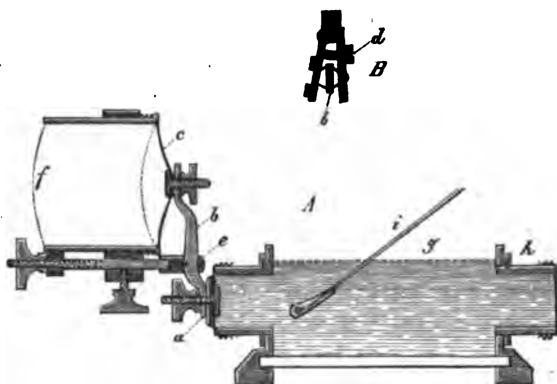


Fig. 18. *A* Tonzuleitungsapparat für Untersuchungen der Schwingungen im Wasser, derselbe Apparat dient, je nachdem man die Spitze *a* des Hammers *b* mit einer spitzen Feder oder mit einem festen Stift armirt, als Logograph oder als Phonograph. *c* das Trommelfell, *e* die Axe des Hammers, aus zwei Drähten bestehend, die den als Hammer dienenden Metallhebel umspannt halten. Ein Durchschnitt des Gelenks ist bei *B* gegeben, man sieht wie die den Hammer darstellende Metallplatte *b* von zwei Drähten umfasst wird, welche durch die Schraube *d* gespannt werden. Von dem Rohr *f* aus wird der Ton zugeleitet. *g* ist ein mit Wasser gefüllter Kasten, dessen Boden durch eine Glasplatte geschlossen wird. *h* ein mit einer Membran überzogener Tubulus zur Ableitung der Schallbewegung aus dem Wasser. *i* eine Nadel, auf welche das zu untersuchende Object befestigt wird. Die Nadel wird jedoch durch einen, hier nicht sichtbaren Tubulus von der Seite her mit Hülfe eines Korks in den Raum eingeführt. Die verschiedenen Schrauben dienen zur genauen Einstellung und Befestigung der Theile.

Die ersten Versuche hat Politzer (29. S. 59) gemacht, welchem es glückte, durch, auf Hammer und Ambos geklebte Fäden, recht deutliche Curven auf einen berussten rotirenden Cylinder schreiben zu lassen. Einfache Töne, Schwebungen und etwas zusammengesetzte Schwingungen wurden so gezeichnet. Aehnliche Erfolge hatte auch Blake [58], der das Trommelfell zur Benutzung als Logograph empfiehlt. Buck [59] hat die Schwingungen an den Schwingungslinien, welche

58 Clarence Blake, Ueb. d. Verwerthung d. Membr. tymp. als Phonoautograph und Logograph. Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkunde. V. S. 434. 1876. Interessant ist, dass der Erfinder d. Telephons, Graham Bell, sich bei den Versuchen betheiligte.

59 Buck, Ueb. d. Mechanism. d. Gehörknöchelchen. II. Ebenda 1870.

durch glänzende Punkte an den Knöchelchen entstehen, mikroskopirt. Die Excursionsweite des Hammerkopfs ging bis 0,43 mm. Ein doch recht beachtenswerther Befund ist, dass bei kleineren Schwingungen oft dieselbe Amplitude an Hammerkopf und Steigbügel gefunden wurde; andere Male dagegen nur 1/9 derselben. Die Bewegungsrichtungen entsprechen nicht besonders gut den von Helmholtz gelehrten Ansichten, jedoch erklärt Buck diese in den Einzelheiten nur bestätigen zu können, was uns genügen kann. Hensen (s. S. 100), der schon vor Buck in dieser Weise und zwar von der unteren Wand des Cav. tymp. aus, untersucht hatte, bemerkt, dass das Trommelfell sich stärker bewegte als das Manubrium, und dass die Schwingung dieser Theile nicht um ihre Ruhelage, sondern um einen etwas einwärts davon gelegenen Punkt vor sich ging. Mach und Kessel (60, 61, 62) haben mit Hülfe eines stroboscopischen Verfahrens die genauesten Nachrichten gegeben. Ein Heliostat warf die Sonnenstrahlen durch einen Spalt auf das Präparat, jedoch ein zweiter Spalt, welcher auf einer schwingenden Stimmgabel angebracht war, schnitt die Strahlen periodisch ab, so dass das Präparat nur kurze Zeit und so oft wie die Stimmgabel eine Schwingung vollendete, beleuchtet wurde; dem Gehörgang wurde dann mit Hülfe eines Schlauches, von einer, der Stimmgabel nahe gleich gestimmten Orgelpfeife aus, der Ton zugeführt. Man sah daher den beobachteten Punkt alle Phasen seiner Schwingung allmählich durchlaufen. Auch an dem Trommelfell des lebenden Menschen konnten auf diese Weise die Schwingungen beobachtet werden. Dies geschah mit umstehendem Apparat Fig. 19.

Da die am Lebenden gemachten Beobachtungen zu keinem anderen Resultat führten, als diejenigen am Präparat, genügt es, über die letzteren zu berichten. Bei Ankunft der Verdichtungsphase flacht sich das Trommelfell, vom Umbo her beginnend, ab und wird sogar schwach concav. Diese Bewegung soll bei den längeren hinteren Fasern des Trommelfells länger fortdauern, wie bei den vorderen. Der Hämmerstiel geht von vorn aussen, nach hinten innen, und dreht sich so, dass die Spitze des Proc. obtusus von oben nach unten und hinten geführt wird. Dabei werden am Kopf die medialen oberen Gelenkränder von einander entfernt, die Gelenkkapsel wölbt sich an dieser Stelle vor, während sie auf der entgegengesetz-

60 Kessel, Ueb. d. Einfluss d. Binnenmuskeln d. Paukenhöhle. Tröltsch's Arch. IX. S. 80. 1874.

61 Mach u. Kessel, Beiträge z. Topographie u. Mechanik d. Mittelohrs. Sitzgsber. d. Wiener Acad. III. Wien 1844.

62 Dieselben, Versuche üb. Accommodation d. Ohrs. Ebenda 1872 u. Tröltsch's Arch. IX. S. 121.

ten Seite in Folge von Verschiebung des Meniscus und der Synovia einsinkt. Der Hammer schleift etwas auf dem Ambos, in der negativen Phase geschieht letzteres jedoch in viel höherem Grade. Die Spitze des kurzen Ambosfortsatzes macht einfache Rotationsbewegungen.

Das Ossiculum Sylvii schleift auf dem Steigbügel; es bewegt sich nach innen und zugleich nach vorn und oben. Der ganze Fusstritt des Steigbügels wird labyrinthwärts gedrängt, am ausgiebigsten an dem vorderen Theil, dann auch am oberen Rande, zuweilen ist seine Bewegung schraubenförmig.

Für manche Fragen entscheidend ist die Beobachtung, dass die Membran des runden Fensters nach aussen geht, wenn der Steigbügel sich nach innen bewegt.

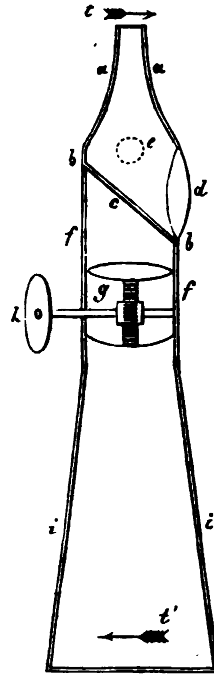


Fig. 19. Der in den Gehörgang des gut fixirten Kopfes eingeführte Trichter *aa* warf mit Hülfe der Linse *d* und des bei *c* durchsichtigen Spiegels *bb* Sonnenlicht auf das Trommelfell, während durch die Oeffnung *e* der Ton zugeleitet wurde. Die Linse *g* entwarf ein Bild des mit Goldbronce bestäubten Trommelfells bei *t'* und dieses wurde microscopisch beobachtet. *h* Trieb.

Die Bewegungen waren z. B. in einem Falle bei Druckschwankungen von ± 0,0053 Atmosphären und 256 Schwingungen am Umbo 0,5, Hammerkopf 0,32, Steigbügelköpfchen 0,06 mm.

Weber Liel[63] hat bei Beobachtung der Steigbügelplatte vom Labyrinth aus bei geschlossener Paukenhöhle gefunden, dass die Circularmembran schon bei leisen Tönen deutlich schwinge, während die Fussplatte selbst noch keine Bewegung erkennen liess. Auffallender Weise ist grade ein solches Verhalten von Riemann[64] als ein, den Klang sehr entstellendes, aufgefasst worden.

Bezüglich einer Abstimmung der Theile des Leitungsapparates hat Mach ([53]) durch Rechnung erwiesen, dass für die einzelnen Theile: Trommelfell, Hammer, Ambos, Steigbügel, Labyrinthwasser, ja vielleicht für die einzelnen Axen ihrer Bewegung, besondere Abstimmungen anzunehmen seien, deren Einfluss auf die Schwingungen von dem Grade ihrer Dämpfung abhängt. In der That fand Hensen (S. s. 8.), dass bei der directen Zuleitung des Tons einer Sirene in sein Ohr, bei dem Durchlaufen der Tonreihe eine Anzahl stark markirter Schwellungen eintrat, für die eine äussere Ursache nicht zu finden war. Die zu starken Töne wirkten jedoch

63 Weber Liel, Membr. tympan. secund. Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 1, 4, 5. 1876.

64 Riemann, Mechanik d. Ohrs. Ztschr. f. rat. Med. XXIX. S. 129.

verletzend auf das Ohr, so dass die Versuche nicht genügend wiederholt werden konnten. Die directe Beobachtung der Knöchelchen, sei es mit Hülfe des Microscops, sei es mit aufgeklebten Fühlhebeln angestellt, ergab für Töne verschiedener Höhe, aber ähnlicher Intensität ein sehr verschiedenes Mitschwingen, von kaum merklicher Bewegung bis zu überraschend starken Elongationen. Die stärkeren Schwingungen traten keineswegs gleichzeitig in allen drei Knöchelchen auf, sondern es betheiligten sich daran, natürlich unter entsprechender Gleitung in den Gelenken, jeweilig das eine oder das andere vorwiegend. Diese Verschiedenheit des Mitschwingens ist bei den Maassangaben aller Beobachter nachzuweisen, doch wurde sie am eingehendsten von SCHMIDEKAM (5) verfolgt. Da unser Ohr bei weniger intensiven Tönen von dieser Ungleichmässigkeit kaum etwas empfindet, würde man schliessen können, dass die Dämpfung stark genug sei, um Eigenschwingungen geringer Amplitude rasch unmerklich zu machen, aber es bleibt die Möglichkeit offen, dass den Binnenmuskeln des Ohrs dabei eine Rolle zufalle.

Fast alle diese Beobachtungen, so mühevoll und dankenswerth sie sind, können doch nur als erste Annäherungen an die Beobachtung normaler Vorgänge bezeichnet werden, denn stets handelt es sich um Töne übergrosser Intensität, um todte Theile oder ungünstige Lage des lebenden Trommelfells, um geöffnete Paukenhöhle oder Labyrinth, um Einwirkung ungewöhnlicher Resonanzverhältnisse und zuweilen um Belastung der Theile mit Fühlhebeln, welche eigene Abstimmung haben. Im Ganzen stehen die Resultate der physiologischen Untersuchung im Einklang mit den physikalischen und anatomischen Voraussagen.

D) Molekular- und Massen-Schwingungen.

Lange Zeit hat eine Differenz der Ansichten bestanden, welche dahin ging, dass die Einen, nach dem Vorgang von EDUARD WEBER[65] annahmen, die eigentliche Uebertragung des Schalls geschähe durch Massenschwingung des ganzen Leitungsapparates, die Anderen aber, namentlich JOH. MÜLLER (13) und mit ihm die meisten vergleichenden Anatomen, denen die im Wasser lebenden Thiere so nahe liegen, gegen diese Annahme Bedenken hatten und glaubten, es müssten Molekularschwingungen (Longitudinalschwingungen) die Rolle der Schallübertragung übernehmen.

Es ist richtig, dass die entstehende Bewegung, wenn der Zug der schwingenden Trommelfellfasern die Moleküle des Hammers trifft, sich im Hammer nach allen Richtungen fortpflanzen muss. Es wer-

65) ED. WEBER, Ueb. d. Zwecke d. Fenestr. rot. Ber. üb. d. 19. Versamml. dtschr. Naturf. S. 83. 1841 u. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss., math.-phys. Klasse. 1851.

den dann die freistehenden Theile, ähnlich wie dies am Stiel einer Stimmgabel microscopisch zu beobachten ist, normal gegen die Oberfläche stossen, es werden also Molekularschwingungen auftreten. Dass diese sich bei den Gehörknöchelchen wirklich finden, scheinen Beobachtungen SCHMIDEKAM's (8) zu erweisen, denen zufolge aufgeklebte Fühlhebel nach Tonhöhe die Richtung ihrer Schwingungen verändern. Es ist aber zu bedenken, dass von allen diesen Bewegungen nur diejenigen zur Verwerthung kommen, welche sich nach dem Labyrinth hin fortpflanzen. Die Berechnung eines speciellen Falls zeigt vielleicht am deutlichsten, dass in genannter Richtung Massenbewegung erfolgen muss. Nehmen wir die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Knochen zu 2000 Metern (in Stahl ist sie c. 5000 M.) und ziehen den für die Wahrnehmung schon zu hohen Ton von 40000 Schwingungen in Rechnung, so ergiebt sich dessen Wellenlänge im Knochen zu 50 mm. Die Dicke des Hammerstiels zu 1 mm. genommen, berechnet sich, dass von dem Moment an, wo der Stoss die laterale Fläche desselben trifft bis zu dem, wo er an seiner medialen ankommt, der 50. Theil einer Schwingung abgelaufen sein wird. Während 24 solcher Zeittheilchen wirkt auf alle Moleküle des Hammers der Druck, im 25. auf einen Theil derselben Zug, auf den anderen Druck dann in 24 Zeittheilen auf alle Zug. Weil also alle Moleküle fast stets in gleicher Richtung gedrängt werden, wird sich die ganze Masse des Hammers und ebenso die der anderen Knöchelchen in die gleiche Bewegung setzen müssen. Da dies schon für die Töne kürzester Wellenlänge gilt, sind wir berechtigt im Allgemeinen von den Formveränderungen, welche die Knöchelchen in ihrem Inneren erleiden, abzusehen. RIEMANN (64) fordert zwar wegen der ungemeinen Kleinheit noch hörbarer Druckschwankungen, absolute Treue in der Wiedergabe derselben und glaubt, dass schon Temperaturschwankungen in der Pauke die Treue der Massenschwingungen stören könnten; aber einerseits geschieht die Uebertragung doch anders, wie er dieselbe sich scheint vorgestellt zu haben, andererseits wird in der That, wie HELMHOLTZ (32) bemerkt, eine absolute Treue der Wiedergabe sich nicht finden und genügt es, um gute Wahrnehmungen zu erlangen, wenn nur immer dieselben kleinen Störungen unter denselben Bedingungen sich in gleicher Weise wiederholen.

E) Belastung des Trommelfells.

Es sind noch einige Experimente zu erwähnen, welche sich auf Belastung des Trommelfells beziehen. Bei einer tönend schwingendem Membran würde Berührung oder Belastung äusserst störend

wirken, bei immer nur mitschwingenden gedämpften Membran wird dies weniger der Fall sein. In der That fand Schmidekam (?), dass Berührung des Trommelfells durch federnde Sonden die Schallwahrnehmung nicht hinderte, während jede Berührung der Sonde sehr stark vernommen wurde. Füllung der Gehörgänge mit Wasser und Untertauchen hat nach Weber (65. S. 30) den Verlust des Vermögens, zu unterscheiden von welcher Seite ein Ton komme, zur Folge. (Vermuthlich wegen der grossen Länge der Schallwelle im Wasser und wegen Enge des Bassins.) Nach Schmidekam tritt ausserdem ein 1. starke osteo-tympanale Leitung; (man möchte glauben, weil die Wassermasse im Gehörorgan den Schall besser aufnimmt und dem Trommelfell zuführt, als sonst die Luft); 2. bedeutende Schwächung der Empfindung der eigenen lauten Sprache, während die eigene Flüstersprache noch gut vernommen wird. Dies erklärt sich vielleicht dadurch, dass durch die Wasserbelastung nicht nur die Spannung, sondern mehr noch die Dämpfung des Trommelfells vermehrt wird. Diese Dämpfung schadet wahrscheinlich der Wahrnehmung von Geräuschen nicht viel, während die Summirung der Bewegung, welche bei regelmässigen Tonschwingungen eintritt, durch die Dämpfung sehr herabgesetzt wird.

3. *Trommelhöhle und Tuba Eustachii.*

Die Paukenhöhle der Säuger ist von sehr wechselnder Gestalt. Bald von überraschender Ausdehnung, bald relativ klein, obgleich nie sehr klein, oft mit glatten Wänden versehen, aber häufiger innen rauh oder mit kleinen und grossen Zellenräumen bekleidet, ja selbst in zwei oder drei fast völlig von einander getrennte Räume getheilt. Vereinzelt communiciren die Pauken beider Ohren. Aus diesen Verhältnissen sind physiologische Schlüsse bisher nicht gezogen, es sei denn der, dass der besonderen Gestalt der Höhle kein grosses Gewicht beizulegen sei.

Die theoretischen Forderungen, welche an diesen Theil zu stellen sind, hat Mach[66] in klarer Weise entwickelt. Für die Trommelfellschwingungen, sagt er, wird der grösste Nutzeffekt erzielt wenn dasselbe von einer Seite möglichst gegen die Schallwellen geschützt ist. Die Höhle darf nicht zu flach sein, denn bei geringer Tiefe werden schon durch kleine Trommelfellexcursionen bedeutende Expansivkräfte der eingeschlossenen Luft geweckt, dagegen könnte eine grössere Trommelhöhle von regelmässiger (nicht von Zellen durchsetzter) Form wegen der Resonanz nachtheilig werden.

66 Mach u. Kessel, Die Function d. Trommelhöhle u. Tuba. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. 1872.

Die Veränderungen, welche die Luft in der Paukenhöhle erfährt, sind nicht untersucht. Wir dürfen mit LÖWENBERG[67] dessen sicher sein, sie mit Wasserdampf gesättigt zu finden, auch wird in Folge Wirkung der gefässreichen Oberflächen eine Vermehrung der Kohlensäure und Verminderung des Sauerstoffs eintreten. Es kommt jedoch ferner in Betracht, dass ein osmotischer Strom durch das Trommelfell gehen dürfte, und dass eine periodische Communication mit der Nasenluft durch die Tuba vermittelt wird.

Ueber die Tuba Eustachii haben namentlich die Ohrenärzte sehr eingehende Untersuchungen angestellt, da sie den einzigen practicabeln, und zugleich einen häufig erkrankten, Zugang zur Paukenhöhle bildet.

Die Tuba, hervorgegangen aus dem inneren Theil der ersten Kiemenspalte, ist ein 35 mm. langer Kanal, welcher aus einem 11 mm. langem knöchernen und 24 mm. langen knorpelig-häutigen Theil besteht. Das Ostium tympanicum liegt nach vorn und ziemlich nahe am Dach der Paukenhöhle; das Ostium pharyngeum im Pharynx, in gleicher Höhe mit dem hinteren Ende der unteren Nasenmuschel. An der Uebergangsstelle zwischen Knorpel und Knochen ist die Tuba am engsten, 2 mm. hoch und 1 mm. breit, die Paukenmündung hat 5 mm. Höhe und 3 mm. Breite; das Ostium pharyngeum 9 mm. Höhe und 5 mm. Breite.

Die Schleimhaut der Tuba trägt ein geschichtetes Flimmerepithelium, welches in der Richtung nach dem Pharynx zu arbeitet. Im submucösen Gewebe finden sich namentlich in der Nähe des unteren Randes des Tubenspaltes, erhebliche Mengen von Schleimdrüsen, ausserdem, nach GERLACH[68], Balgdrüsen. An der medialen Wand des Ganges liegt eine Knorpellamelle, welche an dem tympanalen Ende mit der Bandmasse des Foramen lacerum anterius verwachsen ist, nach dem Pharynx zu sich von der Schädelwand frei macht, und welche sich mit ihrem oberen Rande lateralwärts über den Tubenkanal hinüberbiegt, so dass sie im Durchschnitt eine hakenförmige Gestalt zeigt.

An dieser Knorpelkante, oder nach TRÖLTSCH[69] noch mit von der Tubenschleimhaut, entspringt der Tensor palati, während ohne Verbindung mit letzterer der Levator unterhalb des Tubenkanals ver-

---

67 LOEWENBERG, L'echange des gaz d. l. caisse d. Tympan. Mémoire présenté à l'Académie. 20. nov. 1876. Progrès médical 1877.

68 GERLACH, Zur Morphologie d. Tuba. Sitzungsber. d. phys.-med. Societät zu Erlangen 1875.

69 TRÖLTSCH, Beiträge zur anat.-physiol. Würdig. der Tuben- u. Gaumenmusculatur. Arch. f. Ohrenheilkunde. I. S. 15. 1864.

läuft. Ueber die Gestalt des Kanals, welche an Durchschnitten microscopirt worden ist, scheint eine definitive Uebereinstimmung noch nicht erreicht zusein. Während RÜDINGER auf Grund zahlreicher vergleichend anatomischer Arbeiten[70] behauptet, dass, abgesehen von einer kurzen Strecke am tympanalen Theil des Tubenknorpels, der Tubenkanal in seinem Theil unter dem Knorpelhaken offen stehe, haben andere, wie z. B. TRÖLTSCH, diese Angabe nicht bestätigen können, sondern vertreten die Ansicht, dass in der Ruhe und in der Norm die Wände des Kanals sich überall berühren.

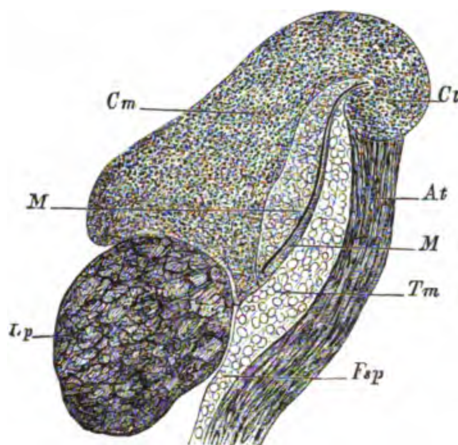


Fig. 20. Querschnitt der knorpligen Ohrtrompete, etwa in der Mitte ihres Verlaufs (nach v. TRÖLTSCH). *Cm* Medialer Knorpel. *Cl* Lateraler Knorpel (Knorpelhaken). *Tm* Häutiger Tubenabschnitt nach unten in die Fascia salpingo-pharyngea *Fsp* übergehend. *M* Drüsenreiche Schleimhaut am medialen Knorpel. *Mss* Musc. spheno-salpingo-staphylinus, sc. Tensor palati. *Lp* Musc. petro-salpingo-staphylinus si Levator palati.

Das Schlundostium ist durch den Finger und durch Rhinoscopie, welche theils nach dem Vorgang von J. CZERMAK[71], mit nach oben gewandtem und etwas modificirtem Kehlkopfspiegel, theils bei etwas weiten Nasengängen von dort aus, mit Hülfe intensiver Lichtquellen ausgeführt wird, zur Beobachtung zu bringen. Dasselbe ist Gegenstand eingehender Studien geworden, jedoch genügt es für die Physiologie aus der folgenden Figur S. 55 nach ZAUFAL[72] und deren Erklärung sich zu instruiren; wir werden darauf bei Besprechung der Tubenbewegung zurückkommen.

In die Tuba kann bekanntlich leicht ein Katheter eingeschoben werden, aber auch bis in das Cav. tympani hat man feine Röhren zu führen vermocht.

A) Function der ruhenden Tuba.

MACH und KESSEL ([66]) haben an Gehörpräparaten experimentell nachgewiesen, dass eine gleichzeitige Zuleitung des Schalls von der Tuba und dem Gehörgang aus, die Bewegung des Trommelfells herabsetzt oder verhindert; ein Resultat, welches mit der Theorie völlig im Einklang steht. Die ruhende Tuba würde demnach die Function

70 RÜDINGER, Die Ohrtrompete in STRICKER's Lehre v. d. Geweben und Monatsschrift f. Ohrenheilkunde. 1867 u. 68.

71 J. CZERMAK, Der Kehlkopfspiegel u. seine Verwerthung. Leipzig 1860.

72 ZAUFAL, Die normalen Bewegungen d. Rachenmünd. d. Eustachischen Röhre. TRÖLTSCH's Arch. IX. u. X. 1875 u. 76.

haben, vermittelst der Flimmerhärchen als Abzugskanal für etwa in der Paukenhöhle sich anhäufende Flüssigkeit zu dienen. Dieser Strom ist jedenfalls schwach, denn man hat ihn z. B. beim Einführen von Milch in die Paukenhöhle noch nicht beobachtet, aber es ist nicht einzusehen, wie er fehlen sollte. Die Tuba hat ferner einen, wenngleich wenig festen, Verschluss gegen die Luft des Schlundraumes zu bilden. Nachdem TOYNBEE [73] letzteren Sachverhalt scharf betont hatte, wurde

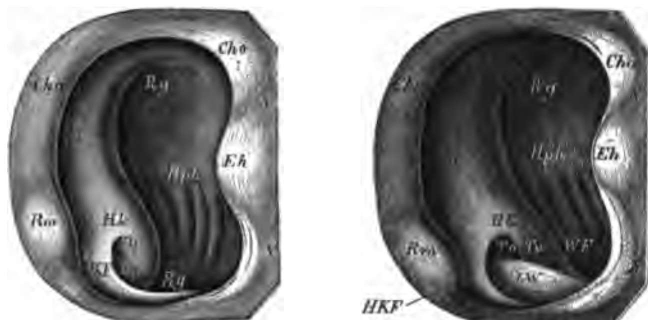


Fig. 21. Halbschematisch. *A* Tuba geschlossen. *B* Tuba offen. *N* Nasenscheidewand. *Eh* Erhöhung an derselben. *Cho* Choane. *Rm* untere Nasenmuschel, hier rudimentär. *Hph* Hintere Pharynxwand. *Rg* Rosenmüller'sche Grube. *Tw* Tubenwulst. *To* Tubenostium. *Hk* Haken. *Hkf* Hakenfalte. *Wf* Wulstfalte. *Lw* Levatorwulst.

von mehreren Seiten Bedenken dagegen erhoben. LUCAE [74] und SCHWARTZE [75] beschreiben nämlich Respirationsbewegungen des Trommelfells, welche auf ein Offenstehen der Tuba, während eines Abschnitts dieses Aktes, bezogen werden müssen. Es lassen sich aber diese Bewegungen an der Mehrzahl gesunder Ohren nicht mit genügender Deutlichkeit nachweisen, und für das, was man sieht, kommt in Betracht, dass kleine Druckschwankungen schon durch Lumenänderungen der Tuba ohne Eröffnung derselben, und durch die mit der Respiration wachsende Füllung der Gefässe an der ausgedehnten Oberfläche des Cavum tymp. hervorgerufen werden können. Die Dichtigkeit des Tubenverschlusses gegen äusseren Druck erweist sich als ziemlich erheblich. Beim Aufenthalt in Räumen mit comprimirter Luft kann nämlich eine ziemlich schmerzhafte Spannung des Trommelfells (Druck über 100 mm. Hg) eintreten, ohne dass Luft durch die normale Tuba hindurch gepresst und so die Spannung behoben wird (MAGNUS [76], HARTMANN [77]). In anderen Fällen, WEBER LIEL [78],

73 TOYNBEE, Diseases of the ear. p. 133. 1852. (Nicht eingesehen.)
74 LUCAE, Respirationsbeweg. d. Trommelfells. TRÖLTSCH's Arch. I. S. 96. 1865.
75 SCHWARTZE, Respirat.-Beweg. d. Tr. Ebenda. S. 139.
76 MAGNUS, Verhalten d. Gehörorg. in comprimirter Luft. Ebenda I. S. 269.
77 HARTMANN, Experimentelle Studien üb. d. Function d. Eustachischen Röhre. Leipzig, Veit. 1879.
78 WEBER LIEL, Zur Physiol. d. Tuba. Monatsschr. No. 7. 1868.

ist allerdings ein allmählicher Ausgleich ohne absichtliche Eröffnung der Tuba beobachtet worden, aber dieser ging doch so langsam, dass von einem wirklichen Offenstehen nicht die Rede sein kann. Durch Compression der Luft in Mund und Nase kann man deren Durchtritt durch die Tuba erzwingen und fühlt dann, dass eine Anspannung des Trommelfells eintritt (der sog. VALSALVA'sche Versuch), man bemerkt dabei aber stets, dass die Luft bei einem individuell wechselnden Druck (nach HARTMANN zwischen 20 u. 50 mm. Hg) plötzlich eindringt. Die Entleerung der Luft vom Cavum nach aussen geht dagegen viel leichter, und bei stärkeren Druckschwankungen unter Bildung von Schleimblasen, vor sich.

Wir wissen, dass die Schallwellen ohne merkliche Schwächung zu dem Trommelfell durch den äusseren Gehörgang selbst dann vordringen, wenn derselbe fast ganz mit Epithelien u. s. w. verstopft ist, durch die Tuba dringt dagegen kein Geräusch ein. Wenn nämlich tönende Körper durch den Mund dem Ostium tubae genähert werden, so werden sie desto undeutlicher vernommen, je tiefer sie eingeführt werden. Sobald die Tuba eröffnet wird, ändert sich dies, namentlich tritt die, mit dem Namen Autophonie bezeichnete Erscheinung ein, dass nämlich dabei die eigene Sprache stark hallend im Inneren des Ohrs vernommen wird.[79] Auch von Anderen kann auscultatorisch ein auffallendes Heraussprechen aus dem Ohr des Betreffenden gehört werden.[80] Man hat diese Erscheinung beim Gähnen. Einzelne Autoren haben die Erfahrung gemacht, dass sie willkürlich die Autophonie bei sich eintreten lassen können.

Nach diesen Erfahrungen steht fest, dass die Tuba weder dicht geschlossen ist, noch weit offen steht. Will man die Norm noch enger begrenzen, so ist der leichte Verschluss mehr normal, als ein noch so geringes Klaffen. Bei den Cetaceen steht die Tuba offen.

B) Bewegung der Eustachischen Röhre.

Ungleichheit des Luftdrucks innen und aussen am Trommelfell würde die Spannung desselben ändern. Man kann die Ungleichheit künstlich durch den negativen oder positiven, von POLITZER modificirten VALSALVA'schen Versuch erzeugen, d. h. während des Schluckaktes treibt man die Luft von der verschlossenen Mundhöhle aus durch Pressung in die Trommelhöhle ein, oder zieht sie durch Verdünnung mittelst intendirter Inspiration bei verschlossenen Ostien heraus. Seit JOH. MÜLLER (13) ist es bekannt, dass die durch

79 POORTEN, RÜDINGER, FLEMMING. Monatsschrift No. 9. 1872. No. 2. 1874. No. 6. 1875 und YULE, Journ. of Anat. and Physiol. 1874. (Nicht eingesehen.)
80 GRUBER, Monatsschr. No. 8. 1868.

den Luftdruck veränderte Spannung des Trommelfells eine Veränderung der Hörfähigkeit herbeiführt; im Allgemeinen erfolgt wohl eine Abnahme derselben, die aber am auffallendsten für tiefere Töne ist. Die Verschiedenheit des Luftdrucks wird bei verschlossenen Tuben offenbar bei jeder Aenderung des atmosphärischen Drucks eintreten müssen, ferner in Folge einer Luftresorption oder Exhalation in der Paukenhöhle. Die ungleiche Spannung der Luft wird sich ausgleichen, sobald die Tuba sich öffnet; da aber nennenswerthe Aenderungen des äusseren Luftdrucks sich in der Regel nur langsam machen, wird es genügen, wenn nur die Tuba von Zeit zu Zeit sich öffnet. Die Herstellung einer zeitweiligen Verbindung zwischen Trommelhöhle und Rachen ist demnach eine dritte Aufgabe, welche die Tuba zu erfüllen hat; wir werden Bedingungen und Mechanismus dieses Processes zu untersuchen haben.

Die Versuche der Ohrenärzte über den Grad des Drucks, welcher bei verschiedenen Bewegungen im Rachenraum nöthig ist, um Luft aus der Nase in die Pauke zu treiben, zwingen dazu, verschiedene Grade der Annäherung zur Eröffnung der Tuba anzunehmen. Starke Respiration, Phonation (das Wort: huk, Gruber[81]), endlich der Schluckakt (Toynbee[82], Politzer[83]), würden die drei Stufen dieser Reihe sein. Beim Schlucken dringt die Luft jedenfalls am leichtesten in die Paukenhöhle; als Hartmann (77) den dafür erforderlichen manometrischen Druck zu bestimmen suchte, fand er zwar noch im Minimum 30 mm. Wasserdruck, aber er macht geltend, dass ein, durch den Valsalva'schen Versuch gespanntes Trommelfell nach dem Schluckakt völlig in die normale Stellung zurücktrete. Insofern hier die Spannkräfte geschaffen waren, welche die schwach schliessende Tuba durch Druck öffnen konnten, ist die Beobachtung noch nicht streng dafür beweisend, dass die Tube sich *aktiv* eröffnet. Nur die Autophonie dürfte voll beweisend für aktive Eröffnung sein, aber sie ist beim Schluckakt nicht wohl zu prüfen.

Lucae[84], der mit Anderen den Zustand der Tuba noch genauer präcisiren will, als in Obigem geschehen und auf dessen Deductionen daher verwiesen werden muss, bemerkt, dass sowohl Saugen wie starker Exspirationsdruck (Schneuzen) die Luft in der Pauke bewege, sowie dass beim Schlucken zuerst ein positiver, dann ein negativer Druck dort entstehe. (Letzteres zuerst von Politzer beobachtet.)

81 Gruber, Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 10 u 11. 1875.
82 Toynbee, Proceedings of the Royal Society. 1853. (Nicht eingesehen.)
83 Pollitzer, Beleuchtungsbilder d. Trommelfells. S. 138. 1865.
84 Lucae, Arch. f. pathol. Anat. a. LXIV. S. 476. 1875. b. LXXIV. 1878.

Ueber die Bewegung des Ostium pharyngeum existiren zahlreiche rhinoscopische Beobachtungen an besonders dazu geeigneten normalen und pathologischen Fällen; unsere Darstellung wird sich an die Beschreibung von Zaufal (72) und Michel (85) halten.

Beim Schlucken und in Begleitung der Erhebung und Senkung des weichen Gaumens ändert sich das Ostium in auffallender Weise (Fig. 21 *B* S. 55). Den Anfang der Bewegung scheint die Plica salpingopalatina zu machen, welche etwas lateral ausweicht und sich stärker krümmt. Darauf geht der Tubenwulst rückwärts nach der Mittellinie zu und etwas nach oben. Gleichzeitig zieht sich die Pars pterygoidea des oberen Schlundkopfschnürers zusammen und bildet einen Wulst zur Seite der Raphe. Im Tubenostium, und zwar am Boden desselben, erhebt sich eine First, welche von dem contrahirten Levator palati herrührt. Nun erst tritt der Augenblick ein, wo die Tubenspalte sich eröffnet, dieselbe klafft unten zuerst und am weitesten, sie hat dabei die Gestalt eines Dreiecks, dessen Spitze sich in eine, den oberen Abschnitt der Tubenspalte bezeichnende Linie auszieht.

Mit dieser Beschreibung dürfte es übereinstimmen, wenn Lucae (84b) findet, dass die Eröffnung der Tuba im Beginn des Hinunterschluckens, wo der weiche Gaumen herabsinkt, stattfindet.

Ob die beschriebenen Bewegungen zu einer Eröffnung des ganzen Tubenkanals führen, lässt sich nicht entscheiden. Diejenigen, welche willkürlich die Tuba zu eröffnen vermögen, so z. B. Flemming (79) sprechen von einem vorbereitenden Akt, der von einem knackenden Geräusch begleitet sei, und von der definitiven Eröffnung. Allerdings sahen wir, dass auch an dem Ostium eine Reihenfolge von Processen sich abwickelt, so dass die Möglichkeit, es sei das Beobachtete schon die Eröffnung des ganzen Kanals, wenigstens offen zu halten ist. Dabei würden dann also die Schlundschnürer eine wesentliche Rolle spielen. Seit Tourtual's [86] Arbeit hat man den Levator und Tensor veli palatini in Beziehung zur Bewegung der Tuba gebracht. Politzer [87] wies nach, dass beim Hunde die Eröffnung durch Reizung des Trigeminus im Schädel zu bewirken sei. Die in dem einen untersuchten Fall am abgetrennten Schädel beobachtete Bewegung sei auf die Thätigkeit des Tensor veli zu beziehen gewesen, der vom Trigeminus innervirt werde. Tröltsch (69) ver-

85 Michel, Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 11. 1875.
86 Tourtual, Neue Untersuchung. üb. d. Bau d. menschl. Schlundes u. Kehlkopfes. Leipzig 1846.
87 Politzer, Beziehg. d. Trigeminus z. Eustachischen Ohrtrompete. Würzb. naturw. Ztschr. S. 92. 1861.

tritt lebhaft auf Grund anatomischer Studien die eröffnende Function dieses Muskels, indem er betont, dass derselbe nicht nur an der Knorpelkante, sondern auch an der Schleimhaut entspringe und an dem Hamulus pterygoideus einen festen Halt für den Zug auf die Tuba habe. Mit HENLE[88] finde ich die Zugrichtung des Muskels für die Function als Eröffner der Tuba recht ungünstig, es sei denn, dass letztere stark medialwärts gezogen worden sei, ehe er angreift. Wenn gar, wie es RÜDINGER ([70]) stets fand, der Tensor nur von der lateralen Knorpelkante entspringt, dürfte die Kraft, welche dann die Eröffnung durch den Muskel erfordern würde, die Grenzen seiner Leistungsfähigkeit überschreiten.

Die Frage liegt so schwierig, dass zur Entscheidung eine vivisectorische Untersuchung unentbehrlich erscheint. Inzwischen ist daran zu erinnern, dass die Tuba bei den kaltblütigen Wirbelthieren (so wie bei den Cetaceen) weit offen steht und daher ein ausgeprägter Muskelmechanismus aus phylogenetischen Gründen nicht zu erwarten ist.

4. *Tensor tympani und Stapedius.*

Die relativ mächtigen Muskeln der Paukenhöhle sind quergestreift. Der Tensor, 2,2 cm. lang[89], in einem knöchernen Halbkanal parallel der Tuba verlaufend, ist von einer starken Scheide umgeben. Indem seine Sehne rechtwinklig umbiegend, sich aus dem Knochenkanal heraus durch das Cavum tympani an den Hammerstiel begiebt und sich etwas unterhalb des Proc. brevis ansetzt (Fig. 10 S. 31), strahlt sie namentlich über den vorderen Rand des Hammers aus (GRUBER[41]). Die Scheide des Muskels überkleidet, nachdem sie sich an den Proc. cochleariformis fixirte, die Sehne mehr oder weniger fest (TOYNBEE,[37]) und bewirkt, dass die Beweglichkeit der Sehne (beim Menschen!) eine sehr beschränkte wird (MAGNUS[47]), ohne dass deshalb, nach Ansicht der meisten Untersucher, die Einwirkung des Muskels auf das Trommelfell aufhörte. Der Muskel zieht das Trommelfell nach innen, ohne dabei den Hammer erheblich um seine Queraxe zu drehen. Er giebt, wie HELMHOLTZ ([32]) hervorhebt, schon in der Ruhe dem gesammten Trommelfell-Bandapparat eine, von der Elasticität des Muskels abhängende Spannung, welche ein Schlottrigwerden des Apparates verhindert.

Die Innervation des Muskels geschieht, wie POLITZER[90] experi-

88 HENLE, Handb. d. systemat. Anatomie. II. S. 117. 1862.
89 WEBER, Muscul. tensor tymp. Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 10. 1872.
90 POLITZER, Beitr. z. Physiol. d. Gehörorgans. Sitzungsber. d. Wiener Acad. S. 427. 1861.

mentell nachgewiesen hat, durch den Trigeminus, welcher einen Zweig durch das Ganglion oticum an den Muskel abgiebt. Voltolini [91] bestätigt dies, findet aber, dass auch der Facialis den Muskel innervire, doch würden nach Politzer Stromesschleifen im Trigeminus an letzterer Angabe Schuld tragen. Das experimentelle Verfahren, von Voltolini [92] angegeben, ist Folgendes. Der Kopf wird von dem Rumpf des frisch getödteten Thiers (untersucht sind Hund, Schaaf, Kalb, Kaninchen, Katze und Meerschweinchen) abgenommen, das Gehirn entfernt und die Bulla ossea genügend eröffnet, um den Hammergriff oder was sonst gewünscht wird, zu übersehen.

Die Reizbarkeit besteht genügend lange, namentlich wenn die Theile warm gehalten werden. Um die Bewegung zu beobachten wird das Trommelfell rings umschnitten, oder ein Manometer luftdicht in den Gehörgang gefügt oder endlich ein Fühlhebel (Heftpflaster) an die Theile geheftet.

Der Stapedius, welcher aus seiner Knochenkammer von hinten her seine Sehne an den Kopf des Steigbügels und z. Th. an das Ossiculum Sylvii sendet, wird von dem Facialis versorgt, wie anatomisch und von Politzer (90) experimentell nachgewiesen ist. Er bewegt den Steigbügeltritt so, dass derselbe mit seiner vorderen Peripherie in das Cavum tympani, mit der hinteren ein wenig in das Labyrinth vorrückt. Zugleich spannt sich die Circularmembran ringsum. Politzer [93] (90), der theils an Präparaten, theils am noch reizbaren Hundekopf die Verhältnisse prüfte, erklärt den Stapedius für einen Antagonisten des Tensor. Wenn er wirkt, bewegt sich das Trommelfell nach aussen (erschlafft), und wenn der Druck im Labyrinth an dem, in einen Halbcirkelkanal eingesetzten Manometer gemessen wird, zeigt er sich vermindert.

Fast alle Beobachter, welche die Schwingungen der Gehörknöchelchen untersuchten, haben auf den Einfluss der Muskeln dabei geachtet, doch haben Kessel (60) und Mach (62), nach den bereits angegebenen Methoden, besonders genaue Resultate erhalten. Die zur Tonzuführung benutzten Orgelpfeifen hatten zwischen 256 und 1024 v. d. Der Muskelzug wurde durch eine, soweit angegeben, schwache (3 Gramm) Belastung der mit Hülfe eines Fadens verlängerten Sehne ersetzt. Bei Tenotomie des Tensors vermehren sich die Schwingungen des Trommelfells um ein Viertel. Bei Anspannung desselben verhalten sich die verschiedenen Theile der Membran verschieden

91 Voltolini, Welches Nervenpaar innervirt d. Tensor? Arch. f. path. Anat. LXV.
92 Derselbe, Anat. u. pathol.-anat. Unters. Arch. f. pathol. Anat. XVIII. S. 42.
93 Politzer, Zur Anatomie d. Gehörorgans. Tröltsch's Arch. IX. S. 158. 1875.

und zwar entsprechend der etwas verschiedenen Spannung, welche die einzelnen Fasern dabei gewinnen. Bei einfachen Tönen vermindert sich die Schwingung beim Zug des Tensor und zwar mehr in den vorderen wie in den breiteren, hinteren Partien. Als Grundton und Octave zugeleitet wurden, stellte Ziehen am Stapedius die Bewegung etwas wieder her. Beim Ziehen am Tensor wird am vorderen Theil Grundton und Octave verlöscht, am hinteren Abschnitt erlischt zuerst die Octave; an der Membr. flaccida (mittlerer Sector KESSEL) erlischt, wenn der Zug überhaupt dazu ausreicht, zuerst der Grundton. Die später (62) am Hammerkopf angestellten Versuche stimmen mit obigen Resultaten nur mittelmässig überein. Bei Anspannung des Tensor tritt die, von dem tieferen Ton hervorgerufene Schwingung bei weitem leichter und auffallender zurück, wie diejenige des höheren Tons, namentlich wenn als letzterer nicht die Octave, sondern der vierte Theilton zur Verwendung kommt. In anderen Worten: die Anspannung des Tensor schwächt innerhalb der untersuchten Grenzen die höheren Töne merklich weniger wie die tiefen. Die Anspannung der Sehne des Stapedius hatte keinen merklichen Einfluss auf die Schwingungen.

Diese Versuche am todten Ohr können über die Function des lebenden Muskels noch nicht entscheiden, zur Auffindung derselben sind wir auf die Hypothese und den directen Versuch angewiesen.

Die älteren Autoren, denen für die Wirkung von Binnenmuskeln in einem Sinnesorgan nur die Iris einen Anhaltspunkt gewährte, neigten sich der Ansicht zu, dass durch die Binnenmuskeln die Bewegung des Schallzuleitungs-Apparates gedämpft werde (HARLESS 17. S. 381, 384). Es ergab sich allerdings bald, dass *momentanen* Schallerschütterungen nicht rasch genug durch die Muskelthätigkeit werde vorgebeugt werden können. Unser Trommelfell muss und kann in der That selbst den Knall moderner Geschütze in grosser Nähe wenigstens einige Male ohne Nachtheil ertragen. Es ging dann die Ansicht dahin, dass die, in Folge solcher Stösse eintretenden störenden Nachschwingungen, würden gedämpft werden können. Es wurde aber auch schon den Muskeln das Vermögen, einzelne Töne zu schwächen, andere hervorzuheben, zugeschrieben. Seit WOLLASTON's[94] und JOH. MÜLLER's (13. S. 436) Versuchen ist es nämlich bekannt, dass bei Spannung des Trommelfells (mittelst des VALSALVA'schen Versuchs) tiefere Töne undeutlicher gehört werden, wäh-

94 WOLLASTON, Philosoph. Transactions. p. 310. 1820.

rend die höheren wenigstens nicht schwächer, vielleicht absolut stärker wirken.

Es wurde näher gelegt, diese Accommodation für verschiedene Tonhöhen anzunehmen, als der Accommodationsvorgang im Auge genauer bekannt wurde. Namentlich Mach (53) hat diese Annahme verfolgt. Er hat in diesem Sinne eine leicht zu wiederholende Beobachtung gedeutet.[95] Schlägt man eine Reihe von Tönen, z. B. den vollen Accord, am Fortepiano an und setzt dann in aufsteigender Reihe eine Taste nach der anderen in Ruhe, so klingt jedesmal der nächst höhere Ton verstärkt ins Ohr. Dabei geht, wie ich finde, die Klangfarbe verloren, der Ton klingt wie ein Oberton, also eine reine Sinusschwingung. Es ist nicht deutlich erkennbar ob und inwieweit der Accommodation bei dieser Wahrnehmung eine Rolle zukommt.

L. Fick[96] hat geglaubt, dass bei Contraction der Kaumuskeln der Tensor sich mit bewege und stützte diese Ansicht namentlich dadurch, dass dabei an einem in den Gehörgang eingesetzten Manometer eine negative Druckschwankung beobachtet werde. Diese Druckschwankung scheint jedoch andere Ursachen haben zu müssen, da Lucae[97] dabei eine begleitende Einziehung des Trommelfells nicht finden konnte. Lucae glaubt jedoch die Mitbewegung des Tensor aufrecht erhalten zu können, indem er sich auf die Ansicht von Gruber[98], dass der Hammer etwas nach einwärts gehen könne ohne das Trommelfell mitzunehmen, beruft.

Bei diesem Versuch werden sämmtliche musikalische Töne, namentlich die tiefsten und höchsten (Tab. I) deutlicher gehört.

Wenn man eine Gruppe der mimischen Gesichtsmuskeln, namentlich den Orbicularis palpebr. innervirt, so lässt sich nach Lucae das Einstrahlen dieser Impulse in die Bahn des N. stapedius nachweisen. Es wächst nämlich dabei der Druck im Gehörgang. An Trommelfellen, an denen die pathologische, sog. hintere Trommelfellfalte sich findet, verstreicht diese in Folge einer Auswärtsbewegung des Leitungsapparates. Während dieses Vorgangs werden die musikalischen Töne schwächer gehört, nur Töne von mehr als 10000 Schwingungen kommen verstärkt zur Wahrnehmung. Schon öfter sind Bewegungen an der Tuba, mit denen Lumensveränderungen der Pauken-

---

95 Mach, Bemerk. über d. Accommodation d. Ohrs. Sitzgsber. d. Wiener Acad. S. 343. 1865.

96 L. Fick, Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 526. 1850.

97 Lucae, Die Accommodation o. d. Accommodationsstörungen d. Ohrs. Berliner klin. Wochenschr. No. 14. 1874.

98 Gruber, Anat.-physiol. Studien über d. Trommelfell. S. 38. Wien 1867.

höhle verbunden sein können, auf Thätigkeit der Binnenmuskeln bezogen. In Anbetracht der sehr labilen Stellung der Trommelfellausbuchtungen könnten die vorstehenden Beobachtungen auf Tubenbewegung zurückzuführen sein, aber es zeigt sich, dass sie doch wohl den Stapedius betroffen haben.

Die Contraction des Tensor ist bei einzelnen Individuen willkürlich. Die dabei zu machenden Beobachtungen sind am ausführlichsten von SCHAPRINGER[99] beschrieben worden. Bei der willkürlichen Einziehung des Trommelfells entsteht ein Druckgefühl im Ohr und es werden starke Muskelgeräusche* gehört. Man konnte die Bewegung des Trommelfells sowohl direct deutlich sehen, als auch mittelst des eingeführten Manometers beobachten. Bei dieser Thätigkeit des Tensor wurden die tiefsten Töne bis zu etwa 70 Schwingungen ganz ausgelöscht, von da an erschienen sie geschwächt und leerer in der Klangfarbe, bei noch höheren Tönen verlor sich dies und Töne der dreigestrichenen Octave (1000—2000 Schw.) erschienen, trotz der begleitenden Muskelgeräusche verstärkt. Wenn sein Ohr mittelst eines, in den Gehörgang luftdicht eingeführten Kautschukschlauches von einem zweiten Beobachter auscultirt wurde, erschien für diesen, nicht aber für SCHAPRINGER selbst eine Verstärkung von 310 Schwingungen an unzweifelhaft (der Ton wurde von den Zähnen aus zugeleitet). Diese Erfahrung versuchte man durch die Annahme zu erklären, dass die Schwingungen des Trommelfells, nicht aber die, des, durch den Muskel fixirten Hammers, vermehrt worden seien. Die höheren Theiltöne einer Theiltonreihe wurden bei Einziehung des Trommelfells unvergleichlich deutlicher vernommen, wie ohne Einziehung desselben.

Alles Bisherige trifft zwar die Contraction der Muskeln, aber ein Nachweis über die a priori anzunehmende Thätigkeit derselben beim Hören ist darin nicht enthalten. An dem, in SCHAPRINGER's Gehörgang eingefügten Monometer, der deutlich die Einziehung des Trommelfells erkennen liess, konnte beim wechselnden Horchen auf hohe und tiefe Töne nicht die geringste Bewegung bemerkt werden. Die gleiche Erfahrung hatte MACH ([53]) an sich selbst und Anderen gemacht. Derselbe hat es dabei jedoch nicht bewenden lassen, sondern hat mit dem Apparat Fig. 19 und stroboscopischen Verfahren ([62]) das Trommelfell des Lebenden untersucht; aber auch bei diesen Versuchen glückte es nicht, bei der Zu-

99 SCHAPRINGER, Ueb. d. Contraction d. Trommelfellspanners. Sitzgsber. d. Wiener Acad. S. 571. 1870.

* Ueber diese s. die subjectiven Geräusche.

leitung der Töne zum Ohr irgend eine Einziehung oder sonst auf Muskelaction deutende Bewegung, wahrzunehmen.

Auf Grund dieser negativen Erfahrungen und nachfolgender Erwägungen glaubte Hensen ([100]) eine andere Wirkungsweise des Tensor erwarten zu dürfen. Da die Muskeln quergestreift sind, kann ihnen eine sehr rasche Action zugemuthet werden. Es dürfen dabei aber nicht mehr wie zwei oder höchstens drei Zuckungsstösse sich folgen, wenn der Muskelton vermieden werden soll. Dieser Ton wird nämlich beim gewöhnlichen Hören nicht bemerkt, während wir doch wissen, dass er beim Tetanus des Tensor auftritt. Die Spannung des Tensor wird die Abstimmung des Trommelfells erhöhen müssen, also die Empfindung hoher Töne verschärfen, die der niedrigsten Töne wahrscheinlich verschlechtern. Durch Spannung des Trommelfells tritt aber die Dämpfung relativ zurück, es schwingt also nicht so rasch ab. Es scheint daher (und Erfahrungen an anderen Membranen bestätigen dies), dass die Spannung des Tensor für die Wahrnehmung der, aus kurz dauernden Stössen bestehenden Geräusche, ungünstig wirken müsse, während sie die Summirung der Reihen regelmässiger Schwingungen, also der Töne im Allgemeinen begünstigen dürfte. Da z. B. beim Sprechen den Vokalen sehr häufig Geräusche (Consonanten) voraufgehen, da sogar, wie wir später sehen werden, die zwei oder drei ersten Schwingungen eines Tones noch nicht genügen, um eine Tonempfindung hervorzurufen, dürfte an die Möglichkeit gedacht werden, dass der Muskel nur zu Anfang jeder Schallerregung in einzelnen Stössen zucke. Auf diese Weise würden sich auch die Misserfolge der früheren Beobachter erklären, da bei deren Methode sehr wohl eine so kurze, in den Anfang jedes Versuchs fallende, Bewegung des Trommelfells entgehen kann.

Um die Bewegung zu studiren wurde an curarisirten Thieren (Hund und Katze) die Paukenhöhle von unten eröffnet und in die Sehneninsertion des, bei diesen Thieren nicht von Knochen umschlossenen Muskels, eine feingefeilte Nähnadel eingestossen. Jede Bewegung des Muskels wurde durch deren freies Ende in vergrössertem Maasse wieder gegeben. Bei den Versuchen entstand der Erwartung entsprechend bei jedem Geräusch, jedem Toneinsatz, beinahe jeder Sylbe, ein Ausschlag der Nadel. Dagegen konnte ein Tetanus nicht erzeugt werden. Beim Anhalten eines Tons kam die Nadel zur Ruhe, zeigte dann aber sogleich Zuckungen an, sobald neue Geräusche hinzutraten. Tiefe Töne von unter 200 Schwingungen, selbst wenn sie

100 Hensen, Beob. üb. d. Thätigkeit d. Trommelfellspanners. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. S. 312. 1878.

unmittelbar ins Ohr geblasen wurden, geben keine oder nur zweifelhafte Bewegungen der Nadel, hohe Pfeifen von 3000 und mehr Schwingungen, selbst wenn sie ausserhalb des Versuchsraums und in mehr wie 10 Meter Entfernung angeblasen wurden, erregten den Tensor kräftig. Die Reactionszeit des Muskels wurde in vorläufigen Versuchen bestimmt, sie betrug 0,092 und 0,075 Sec. im Mittel, sie dürfte unter normalen Verhältnissen kürzer sein.

Nach diesen Erfahrungen scheint also der Tensor auf reflectorischem Wege durch das Eintreten einer Trommelfellschwingung, nicht aber durch das Andauern derselben erregt zu werden. Es lassen sich über den möglichen Sinn dieses Verhaltens nur Vermuthungen aussprechen. Dass durch die Zuckung eine genaue Abstimmung des Trommelfells für den erregenden Ton, wenngleich nur auf kurze Dauer bewirkt werde, wäre eine Hypothese, die einen zu complicirten Mechanismus verlangt um wahrscheinlich zu sein. Es ist aber von Mach (62) die mathematisch noch nicht untersuchte Beobachtung gemacht worden, dass das Trommelfell leichter für höhere Töne mitschwingt, wenn es zuvor durch tiefere Töne in Bewegung gesetzt wurde. Ist dies, wie nicht zu bezweifeln, richtig, so wird es wohl zweckmässig sein, das Trommelfell beim Ertönen eines Klanges die verschiedenen Grade von Spannung durchlaufen zu lassen, weil dabei die passendste Spannung getroffen werden muss. Die in diesem Moment auftretenden Schwingungen dauern dann leichter fort, auch wenn das Trommelfell nachträglich sich wieder verstimmt. Analoge Erfahrungen lassen sich an spannbaren, ebenen Membranen gewinnen.

Die Zuckungen des Tensor erfolgen noch, wenn dessen Sehne abgeschnitten worden ist, werden also nicht durch Erschütterungen des Trommelfelles als eine Art von Sehnenreflexen hervorgerufen.

In Bezug auf die Thätigkeit des Musculus stapedius ist bereits erwähnt worden, dass Lucae (97) eine Contraction desselben bei starker Innervation des Orbicularis palpebrarum findet. Dabei beobachtet er eine Abschwächung des Hörens sämmtlicher musikalischen Töne, eine Verstärkung derjenigen von 10000 und mehr Schwingungen. Es ist mir neuerdings einmal geglückt, beim Hunde eine Nadel durch die Sehne des Stapedius zu führen. Die Nadel stand mit ihrer Spitze in dem Nervus facialis. So lange der Musculus tensor tympani intact war zuckte sie energisch bei Angabe aller Töne, wahrscheinlich in Folge mechanischer Bewegung der Gehörknöchelchen durch ersteren Muskel. Nach Durchtrennung der Sehne des Tensor zuckte die Nadel im Stapedius nur noch bei Angabe hoher Töne

etwa von 7000 Schwingungen an. Bei tieferen Tönen wurde der Ausschlag undeutlich und gewiss wirkten die Töne der grossen und Contra-Octave gar nicht.*

ZWEITES CAPITEL.

Die Functionen des Labyrinths.

Die Gehörempfindung wird in dem häutigen Labyrinth ausgelöst. Dasselbe liegt in einer fast ganz geschlossenen Knochenhöhle, von welcher es nur einen kleinen Theil ausfüllt. Der restirende Raum der Höhlung ist von der Perilymphe erfüllt. Diese, bei dem allmählichen Schwund embryonalen Gallertgewebes entstanden, enthält nach Dänhardt[101], der namentlich den Dorsch untersuchte, 2 % feste Bestandtheile, darunter durch Mineralsäuren, aber nicht durch Kochen, fällbares Eiweiss, ferner Schleim und einen durch Salpetersäure und Ammoniak sich dunkel kirschroth färbenden Bestandtheil; bei den Fischen ist sie gallertig. Es möge gleich hinzugefügt werden, dass die dünnflüssige Endolymphe der Kanäle 1,5 % fester Stoffe enthielt, darunter wenig Schleim und kein Eiweiss.

Der Knochen des Felsenbeins zeichnet sich durch grosse Härte und Dichtigkeit vor anderen Knochen aus, jedoch der Knochenüberzug des Labyrinthes ist bei manchen Thieren *stellenweise* so schwach und verletzlich, dass man diese Härte nicht wohl als für das Gehör wichtig auffassen kann.

Eine der Oeffnungen der Knochenkapsel ist durch die Membrana tympani secundaria abgeschlossen. Dies ist eine eigenthümlich geformte, aus einer Membr. propria, äusserem und innerem Bindegewebsüberzug bestehende Membran. Nach Weber Liel[102] liegt ihr Ansatz an dem tympanalen Rande der Fenestra rotunda, greift aber ausserdem weit nach dem ovalen Fenster hin aus, so dass er sich bis zum Anfang des häutigen Schneckenkanals erstreckt. Die

---

* J. Budge hat (Arch. f. d. ges. Physiol. IX. S. 460) versucht, den Stapedius in Beziehung zur Erhaltung des Gleichgewichts zu bringen, es muss dafür auf das Original verwiesen werden.

101 Dänhardt, Endolymphe u. Perilymphe. Arbeit d. Kieler physiol. Instituts. S. 103.

102 Weber Liel, Z. Function d. runden Fensters. Centralbl. f. med. Wiss. No. 2. 1876 und Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 1, 3 u. 4. 1876.

Membran buchtet sich tief in die Scala tympani hinein und liegt, wie dies in REICHERT's [103] Abbildungen gut gesehen wird, dem Schneckenkanal in ihrem hinteren Abschnitt so dicht an, dass ein nur $^1/_{10}$ mm. weiter Spalt zwischen ihr und der Membrana basilaris bestehen bleibt. Eine Spannung kommt der Membran nicht zu, doch ist sie nach WEBER-LIEL so tief eingezogen, dass sie nicht viel tiefer eingedrückt, dagegen nach Eröffnung des Labyrinths stark nach der Paukenhöhle zu vorgetrieben werden kann.

Nach dem Vorgang von JOH. MÜLLER ging früher die Ansicht dahin, dass die Membran den Schall direkt, namentlich zur Schnecke leiten könne. Der oft sonderbar getheilte Bau der Trommelhöhle mancher Thiere, bei denen die eine der beiden Höhlen allein für das runde Fenster bestimmt zu sein scheint, konnte in diesem Sinn gedeutet werden. Ferner schien das Experiment mit der sog. MÜLLER'schen Flasche dafür zu sprechen. In dieser sind drei mit Membranen versehene Oeffnungen angebracht, die eine, das Trommelfell, führt vermittelst eines Stabes, der Columella, zu der Membran der zweiten Oeffnung, während die dritte, die Fenestra rotunda, nur mit Membran versehen ist. Der Schall ward nach MÜLLER vom Trommelfell aus durch die Columella dem Wasser, in welches die Flasche halb eingetaucht war, gut zugeführt, aber auch, wenn gleich weniger gut, durch die freie Membran. SCHMIDEKAM (8) fand die Leitung auf letzterem Wege recht undeutlich; die ganze Einrichtung ist aber nur eine rohe Nachahmung der Verhältnisse des Gehörorgans. Die Ansicht hat überhaupt nur ein historisches Interesse, seitdem MACH und KESSEL [61] wie S. 49 erwähnt, nachgewiesen haben, dass die Membr. secundaria von dem Steigbügel aus in Bewegung gesetzt wird und in vollständiger Abhängigkeit von der Bewegung der Gehörknöchelchen steht. Nur wenn deren Reihe unterbrochen worden ist, könnte von einer Zuleitung des Schalls durch die Fenestra rotunda die Rede sein.

Durch den Aquaeductus cochleae, einen engen Gang in der Scala tympani, dicht vor dem runden Fenster, wird der Perilymphe ein Ausgang aus dem knöchernen Labyrinth offengehalten. Der Aquaeductus mündet neben der Fossa jugularis und communicirt hier mit dem Subarachnoidalraum. Nachdem schon HUSCHKE [104] diesen Zusammenhang vermuthet hatte, ist durch WEBER-LIEL [105] beobachtet, dass man an frischen Präparaten von der äusseren Mündung des

103 REICHERT, Anatomie d. Gehörschnecke. Abhandl. d. Berliner Acad. 1864.
104 HUSCHKE, Beiträge z. Physiologie. S. 23. 1824.
105 WEBER-LIEL, Berliner klin. Wochenschr. 1877. No. 44.

Aquaeductus aus die Schnecke mit gefärbter Flüssigkeit füllen könne, wenn die Luft im äusseren Gehörgang wiederholt verdünnt wird. Jedesmal wurde dabei Flüssigkeit in die Schnecke hineingesogen. **Es wird also jeder Druck im Labyrinth sich gegen den Flüssigkeitsdruck im Subarachnoidealraum allmählich ausgleichen.**

I. Das häutige Labyrinth.

Halbcirkelförmige Kanäle, Otolithensäcke und häutiger Schneckenkanal bilden von der Perilymphe abgeschlossene Hohlräume mit bindegewebiger Wandung und innerer, von dem Ektoderm abstammender Epithelauskleidung. Das Bindegewebe ist in der Structur dem Gewebe der Cornea ähnlich, doch wegen der Feinheit der Theile scheinbar weicher; es ist an der Crista acustica der Halbcirkelkanäle an den Maculis der Otolithensäcke und an den sog. Huschke'schen Zähnen in der Schnecke verdickt und daher resistenter. Sehr dünn ist es an der Reissner'schen Membran in der Schnecke, an der freien (der Fenestra ovalis zugekehrten) Fläche der Otolithensäcke und an der überhaupt modificirten Lamina basilaris der Schnecke; an dem Lig. spirale derselben ist es gelockert. Das häutige Labyrinth zerfällt in zwei scharf gesonderte Theile. Der eine, vordere, besteht aus Schneckenkanal und Sacculus, der hintere aus Utriculus und den Bogengängen. Nach Böttcher's [106] Entdeckung communiciren beide Theile mit Hülfe des häutigen Aquaeductus vestibuli, welcher mit je einem Schenkel in den Otolithensäcken entspringt und dann als Gang das Os petrosum durchsetzt, um in einem erweiterten Raum neben dem Sinus petrosus inf. zu enden. Bei niederen Wirbelthieren, so, nach Wiedersheim [107], bei den Ascolobaten unter den Sauriern ist die, hier mit Kalkkrystallen ausgefüllte Höhlung bis an den Schul-



Fig. 22. Schema des häutigen Labyrinths; *a* horizontaler, *b* vorderer, *c* hinterer vertikaler Bogengang mit Ampullen, Crista acustica und deren Nerven *n*, *d* Aquaeductus vestibuli, mit seinen Schenkeln den Utriculus *e*, und Sacculus rotundus *f*, verbindend. Von letzterem geht der Canalis reuniens *g* zum häutigen Schneckenkanal *h*, dessen Radix sehr schmal ist, der aber bis zum Cupelblindsack *i* hin sich mehr und mehr erweitert. Der Schneckennerv *k* tritt überall an den, dem Centrum der Schneckenspirale zugekehrten Rand des Schneckenkanals gradenwegs heran, nur am Blindsack läuft er fast parallel mit dem Canal und lässt hier das Helicotrema *x* als Verbindungsweg zwischen tympanaler u. vestibulärer Fläche d. Schneckenkanals frei.

106 Böttcher, Entwicklung u. Bau des Gehörlabyrinths. Act. Acad. Leopold. XXXV. S. 34.
107 Wiedersheim, Z. Anat. u. Morphol. d. Phyllodactylus. Morpholog. Jahrb. I.

tergürtel hinunter zu verfolgen und bildet grosse Säcke, welche nach seiner Ansicht beim Hören functioniren.

Das häutige Labyrinth ist theils durch Bindegewebsstränge in der Perilymphe aufgehängt, theils durch lockere Nerven- und Gefässpolster von der Knochenwand isolirt. An einigen Orten ist jedoch die Anlagerung an den Knochen fester, so nach RÜDINGER[108] die der Halbcirkelkanäle an der convexen Seite der Knochenkanäle und die des Schneckenkanals. Für letzteren wird die engste Verbindung mit den Schädelknochen durch den Modiolus vermittelt; dieser besteht aber aus einem so bröckeligen und lockeren Knochengewebe, ist auch so wenig fest mit der knöchernen Labyrinthkapsel verbunden (wie Knochenschliffe erweisen), dass eine beschränkte Isolirung der Theile gegen Tonzuleitung durch die Kopfknochen nicht gerade unmöglich zu sein scheint.

Viele anatomische Details, welche durch fleissige Bearbeiter bekannt geworden sind, stehen zur Zeit noch ohne Beziehungen zu den physiologischen Functionen, wir müssen uns auf das, für letztere unmittelbar Wichtige beschränken.

Die halbcirkelförmigen Kanäle.

Die halbcirkelförmigen Kanäle liegen in drei nahezu senkrecht zu einander gestellten Ebenen; wir unterscheiden einen horizontalen, einen hinteren vertikalen oder sagittalen und einen vorderen vertikalen oder frontalen Bogengang. Die Länge der Kanäle beträgt etwa 22 mm.

Die Gänge sind von Pflasterepithel ausgekleidet, für welches Nerven noch nicht nachgewiesen sind; nur in der als Ampulle bezeichneten Erweiterung befindet sich ein starker Zweig des Acusticus. An dessen Eintrittsstelle bildet die knorpelige Wand des Kanals eine Falte, die Crista, innerhalb deren der Nerv verläuft, um aus ihr in das hier verdickte Epithel hineinzutreten. Die innere Oberfläche des Epithels der Crista ist von einem Walde feiner starrer Härchen bekleidet, deren Länge von M. SCHULTZE[109], dem Entdecker dieser Bildungen, zu 0,09 mm. angegeben wird, aber von denen er sagt „sie verlieren sich endlich in solcher Feinheit, dass das letzte Ende nicht genau bestimmt werden kann". FR. EL. SCHULZE[110]

---

108 RÜDINGER, Das häutige Labyrinth in STRICKER's Lehre von den Geweben.

109 M. SCHULTZE, Ueb. d. Endigungsweise d. Hörnerven. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1858.

110 FR. EL. SCHULZE, Zur Kenntniss d. Endigungsweise d. Hörnerven. Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 382. 1863.

beobachtete die Verhältnisse an lebenden Fischen und Amphibienlarven. Die Härchen, zwar nur bis 0,07 mm. lang, mit verdickter Basis entspringend, gingen mindestens bis zur Mitte des Ampullenlumens. Hensen (9. S. 353) bestätigte diese Erfahrung für Fische und findet neuerdings [111] an 12 bis 15 mm. langen Gobius, die Zahl der Härchen auf jeder Crista zu 480, deren Länge zu 0,06 mm.

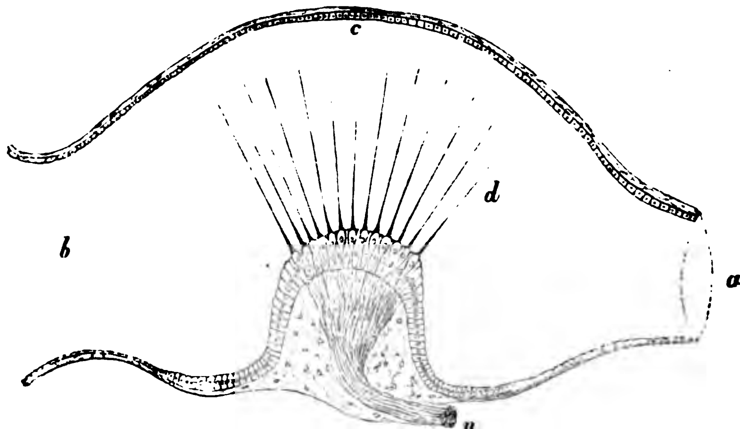


Fig. 23. Längsdurchschnitt einer Ampulle von Gobius, ohne Gewähr für die Form des Cristaepithels. n der Nerv, in das Bindegewebe der Crista eintretend. a Anhang des Kanals, b Eintrittsstelle der Ampulle in den Alveus communis, c das etwas cylindrische Epithel an der freien Wand der Ampulle, d die Härchen.

Von Lang [112] ist gefunden worden, dass bei Cyprinoiden, nach Erhärtung mit Salpetersäure, sich ein schleimig häutiges Gebilde, die Cupula terminalis statt der Härchen auf der Crista finde, spätere Untersucher fanden kurze Härchen und eine Cupula, da jedoch Hensen für Gobius nachgewiesen hat, dass die Cupula durch Reagentienwirkung aus den Härchen entsteht, dürfte vorläufig die Darstellung, von Max Schultze als richtig anzuerkennen sein.

In Bezug auf die Epithelien der Crista dürfte feststehen, dass die Härchen von cylindrischen Zellen aus entspringen und dass zwischen diesen Zellen andere, anscheinend indifferenter Natur liegen. Ueber die Art des Nervenendes gehen die Ansichten auseinander; dass die Nerven in die Epithellage hineingehen steht fest. Der Physiologe wird bis zur Einigung der Anatomen aus allgemeinen Gründen annehmen dürfen, dass die Nerven derart mit den Epithelien in Verbindung stehen, dass die Erschütterungen der Härchen auf sie einwirken.

111 Hensen, Bemerk. gegen d. Cupula terminalis. Arch. f. Anat. u. (Physiol.) 1878.
112 Lang, D. Gehörorgan d. Cyprinoiden. Ztschr. f. wiss. Zool. XIII. S. 303. 1863.

Otolithensäcke.

Die Otolithen bestehen (101. S. 105) aus etwa 74,5 bis 77,5 % anorganischer Bestandtheile, darunter sehr überwiegend kohlensaurer Kalk in Crystallen. Daneben findet sich eine organische Masse, welche mit Schleim verglichen wird; durch letztere werden die Crystallmassen, in den Fällen, wo nicht Steine sondern Otokonie oder Otolithenstaub sich findet, sehr locker zusammengehalten; dies findet bei den höheren Wirbelthieren statt. An der Lagerungsstelle der Otolithen im Utriculus und Sacculus durchsetzen die Nerven an einem rundlichen Fleck (Macula acustica) die bindegewebige Wandung und treten in das hier verdickte Epithel ein. Die Zellen des letzteren tragen Härchen gleicher Art wie die der Crista, nur sind sie viel kürzer. Der Otolith wird von diesen Härchen getragen, so dass er von ihnen gehalten in der Endolymphe schwebt. Von dieser Thatsache kann man sich sehr leicht an durchsichtigen ganz jungen Fischen überzeugen, deren Otolithen sehr klar sind und von relativ langen Härchen umfasst werden. Bei älteren Fischen (Fig. 24) liegt der Stein sehr dicht an der Wandung an, aber auch hier tragen ihn die Härchen, welche mit ihrer Spitze in einem Saum der die Otolithen zu umgeben scheint, eingeheftet sind.

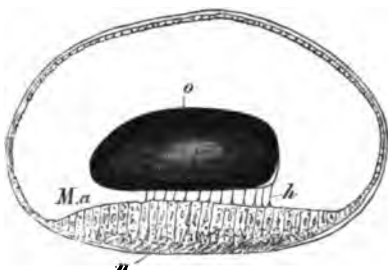


Fig. 24. Otolithensack von GOBIUS (Copie aus 9 Fig. 24). Die Härchen *h* stützen den excentrisch aufliegenden Otolithen *o*, welcher über der Macula acustica, *Ma* schwebend gehalten wird, *n* die Nerven der Macula im optischen Schrägschnitt.

Die Schnecke.

Dies complicirteste aller Gebilde des Ohrs zeigt sich bei den niederen Thieren in Bezug auf den Endapparat immerhin einfach gebaut. So ist nach HASSE's [113] Untersuchungen in der Schnecke der Vögel das Epithel nicht erheblich von dem einer Macula acustica verschieden, nur dass auf ihm keine Otokonie, sondern eine membranöse Cuticularausscheidung liegt. Ein weiterer Unterschied ist, dass das Epithel auf der Membrana basilaris aufsitzt. Bei den Säugethieren liegen die Verhältnisse schwieriger, weil die Zellen sich weiter differenzirt haben.

Seit CORTI's Untersuchungen ist über die Säugethierschnecke so viel gearbeitet worden, dass nicht daran zu denken ist, hier eine

113 HASSE, Schnecke d. Vögel. Ztschr. f. wiss. Zool. XVII.

Würdigung der Detailarbeiten unter denen diejenige von Deiters[114] besonders wichtig geworden ist, vorzunehmen. Ich werde mich bemühen auf Grund eigener Beobachtungen und Kritiken[115] die Verhältnisse durch Hervorhebung des zur Zeit uns Wichtigen in einer für den Physiologen bestimmten Abkürzung darzustellen. Ich muss an dieser Darstellung auch den neuesten Untersuchungen gegenüber festhalten.

Die $2^1/_2$ Windungen der knöchernen Schnecke werden durch die Lamina spiralis in eine obere (eigentlich vordere), vestibulare und untere, tympanale Scala geschieden. Dies geschieht so, dass wenn man die Schnecke abgewickelt und dann der Länge nach, senkrecht auf die Lamina spiralis durchschnitten denkt, ein Bild wie das nachstehende Schema entsteht.

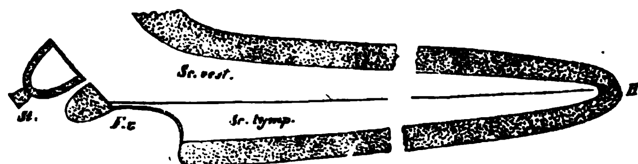


Fig. 25. Anfang und Endtheil der abgewickelten Schnecke im Längsschnitt. *Sc. vest.* Scala vestibuli. *Sc. tymp.* Scala tympani bei *H* das Helicotrema. *F.r.* Membrana tympani secundaria, dicht darüber der Durchschnitt der Lamina spiralis bis zum Helicotrema verlaufend. *St.* Stapes.

Durch die mit weiter Mündung beginnende Scala vestibuli kann man in die Scala tympani nur durch das Helicotrema gelangen. Die Lamina spiralis schliesst im übrigen die Scalen völlig von einander ab und legt sich auch dem Ende der Scala tympani, an der Fenestra rotunda abschliessend, vor. Die Lamina spiralis zerfällt in einen knöchernen Theil, der von der Axe, (Modiolus) der Schnecke seinen Ausgang nimmt und in einen häutigen, als Membrana basilaris bezeichneten, welcher die Fortsetzung des knöchernen bildet und sich an die Peripherie des knöchernen Schneckenkanals ansetzt. Diese Membrana bildet die eine (untere) Wand des im Querschnitt dreieckigen häutigen Schneckenkanals, auf ihr ruhen die Nervenenden. Sie befestigt sich nach aussen an einen verdickten, zu einem Bande entwickelten Streifen des Periost, das Ligamentum spirale, welches die äussere Wand des häutigen Kanals bildet. Auf der Oberfläche dieses Ligaments läuft ein mit Capillaren erfüllter Gewebsstreifen, die Stria vascularis; derselbe dürfte functionell mit der Chorioidea des Auges zu vergleichen sein, während ein unter der Membrana

114 Deiters, Lamina spiral. membr. Bonn, Cohen. 1860.

115 Hensen, a) Zur Morpholog. d. Schnecke. Ztschr. f. wiss. Zool. XIII. S. 486. 1863. b) Kritiken u. neue Befunde. Tröltsch's Arch. VI. S. 1. VII. S. 64. (1873.) VIII. S. 163. IX. S. 251.

basilaris hinziehendes Arterienstämmchen Fig. 26 *A*. v. s. mit der Arteria centralis retinae vergleichbar erscheint. Die obere Wand des Kanals wird durch die sehr feine Membr. Reisneri abgeschlossen.

Die der Schneckenaxe zugekehrte Spitze des dreieckigen Querschnitts ist unregelmässig gestaltet, weil eine schmale knorplige Leiste ins Innere vorspringt. Dieselbe liegt dem Rande der knöchernen Lamina spiralis auf und hat wegen ihrer eigenthümlichen Form und Schichtung den Namen der Huschke'schen Zähne erhalten Fig. 26 *A*, *z*. Von den bisher genannten Gebilden hat die Membrana basilaris ein besonderes physiologisches Interesse, weil sie als der primär mitschwingende Theil scheint betrachtet werden zu müssen. Sie wächst nämlich von der Wurzel des Kanals an in Breite und zwar von 0,041 bis 0,495 mm. also von 1 auf 12 (während die Saiten eines Fortepianos von 1 auf 30 wachsen). Die Länge der Membran beträgt circa 33,5 mm., doch werden für beide Zahlen gewiss noch Schwankungen nicht unerheblicher Breite gefunden werden. Das Breitenwachsthum ist an der Wurzel des Schneckenkanals rasch, denn in der Strecke von 0,4 mm. verdoppelt sich die Breite. Weiter hinauf geht das Breitenwachsthum langsamer, auch an der Cuppel ist keine raschere Verbreiterung zu bemerken, doch wäre möglich, dass der hier etwas schräge Verlauf der gleich zu besprechenden Saiten der Membran den akustischen Effekt einer rascheren Verbreiterung hervorriefe, auch könnte durch die wachsende Belastung mit Epithel und Membrana Cortii eine tiefere Abstimmung des Theils herbeigeführt werden.

Die Basilarmembran besteht aus 3 Lagen; dem häutigen Schneckenkanal zugekehrt findet sich eine Basalmembran *b'*, darunter liegt bei Säugern wie bei Vögeln eine einfache Lage im Querschnitt drehrunder Fasern, welche wegen der spiralen Krümmung des Kanals divergirend von der Lippe der Lamina ossea aus nach dem Lig. spirale hin verlaufen, jedoch erst jenseits des inneren Drittels der Membran so weit von einander getrennt liegen, dass sie als besondere Bildung, Streifung der „Zona pectinata" leicht ins Auge fallen. Diese Fasern verlaufen ohne Theilung jede für sich und isoliren sich ziemlich leicht. Sie scheinen gleich dick von Anfang bis zur Insertion in dem Ligamentum spirale, sowie in den verschiedenen Theilen der Schnecke. Es kommen etwa vier dieser Seiten auf die Breite eines Bogens. Sie sind in eine glashelle Schicht eingebettet, welche auch noch unter ihnen als dritte Schicht *b'''* namentlich am äusseren Theil der Membran bemerkt wird. Ob diese Schicht so weich ist, dass sie die isolirte Schwingung der einzelnen Saiten nicht hindert, war nicht zu entscheiden.

Auf der Membran ruht die Papilla spiralis Huschke, der Nervenendapparat. Derselbe ist an der Radix weniger wie 0,057 mm. breit und 0,06 mm. hoch, am Hamulus 0,195 mm. breit und 0,09 mm. hoch. Der Apparat wird durch zwei relativ starre Pfeiler *e* getragen,

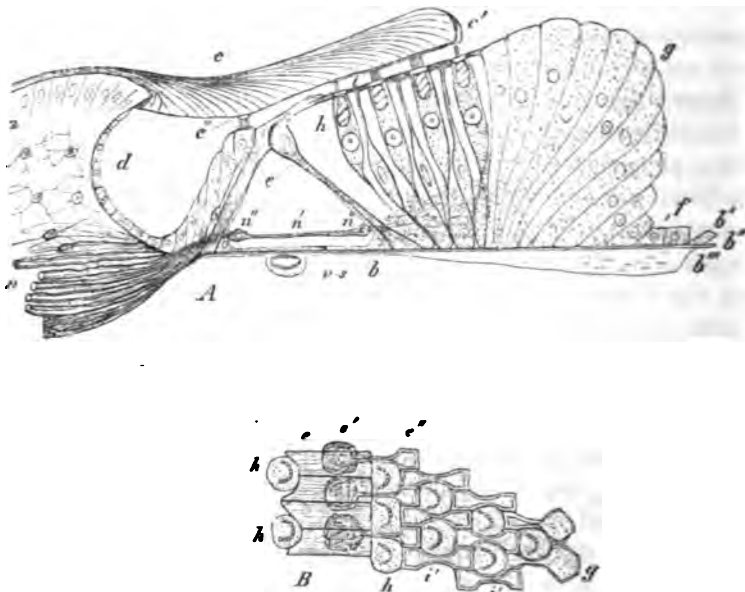


Fig. 26. A) Durchschnitt durch den Nervenendapparat der Schnecke. *s* dem häutigen Schneckenkanal zugekehrter Theil eines Huschke'schen Zahns. *n* der Nerv, durch einen Spalt der Habenula perforata in das Epithel tretend, bei *n'* unter den Bogenfasern als markloser Faserzug weiter nach aussen ausstrahlend; bei *n''* sendet er behufs Plexusbildung Zweige senkrecht zur Ebene des Papiers ab. *v. s.* Vas spirale internum. *b* Membrana basilaris, *b'* Basementmembran, *b''* Saiten, *b'''* glashelles Gewebe unter denselben. *c* Membrana Cortii oder tectoria. *c'* verdickte Unterlage derselben, *c''* ebensolche Bildung von der Fläche als „höckerige Linie" erscheinend. *d* Sulcus spiralis mit seinem Epithel. *e* innere und äussere Bogenfaser, die zu denselben gehörenden Zellen sieht man an ihrer Basis. *f* Epithel der Zona pectinata. *g* Stützzellen. *h* die Corti'schen oder Stäbchenzellen, der eigentliche Nervenendapparat. Von denselben gehen kurze Stäbchen aus, auf denen die Corti'sche Membran frei aufliegt; in diesen Zellen eigenthümliche, mit einem Spiralfaden umwickelte Kapseln. Zwischen diesen Zellen bei *i* eine der Deiters'schen Haarzellen, gleichsam unentwickelte Bogenform repräsentirend. B) Die Strecke zwischen *c'* und *c''* von der Fläche gesehen. *h* die Stäbchenzellen von oben gesehen; die Stäbchen sieht man auf denselben als runde Kreise, welche sich so nebeneinander stellen, dass eine Hufeisenform dadurch gebildet wird. *e* ist die Platte der inneren, *e'* der Kopf der äusseren Bogenfaser. Dieser sendet einen flachen Fortsatz *e''* aus, welcher im Verein mit den sog. Phalangen *i' i'* die Lamina reticularis bildet, welche die Stäbchenzellen umrahmt und trägt. Die Phalangen sind m. E. nichts anderes, als die freien Endflächen der Haarzellen. *g* die innerste Stützfaser, welche etwas zur Bildung der Lamina reticularis mit beiträgt.

welchen sich nach aussen eine gefensterte Platte, die Lamina reticularis anschliesst, diese liegt nach aussen den Stützzellen an. Letztere werden nach dem Hamulus zu so zahlreich, dass man sie als Belastung der Membran auffassen möchte, doch spricht dagegen, dass sie bei Meerschweinchen mit Fett gefüllt sind.

Auf je zwei inneren Pfeilern sitzt eine Zelle, welche auf ihrer freien Fläche eine Reihe kurzer Stäbchen trägt, drei oder vier ähnliche Zellen sitzen in den Löchern der Membrana reticularis. Diese

sog. Corti'schen Zellen sind als der eigentliche Endapparat des Nerven zu betrachten. Ihre Stäbchen sitzen auf einem etwas verdickten Membrantheil, darunter folgt eine Kapsel, die von einem Faden (Nerv?) spiral umwunden ist und die vielleicht als Tastapparat zu deuten wäre. Die Zelle läuft in einen Faden aus, der Neigung hat varikös zu werden. Die Stücke der Membrana reticularis hängen mit den sog. Deiters'schen Haarzellen zusammen, deren Ende sie bilden. Die Pfeiler und die Membrana reticularis bilden die vielleicht bei starkem Druck nachgiebigen Träger der Corti'schen Zellen.

Auf dem ganzen Apparat liegt, getragen von den Stäbchen der Corti'schen Zellen eine ziemlich mächtige Cuticularbildung, die Corti'sche Membran oder Membrana tectoria *c*. Diese Haut ist auf den Huschke'schen Zähnen ziemlich gut befestigt, nach aussen hin aber sicher ohne Befestigung. Da die Spitzen zerrissener todtenstarrer Muskelfasern sich in sie eindrücken lassen, müssen wir sie als ein weiches Gebilde betrachten. Die den Stäbchen aufliegende Fläche derselben hat jedoch einen härteren Ueberzug c', c'', welcher sich absprengen lässt und welcher, besonders markirt über der Reihe der inneren Stäbchenzellen, hier an der abgelösten Membran als höckerige Linie hervortritt.

Alle diese Verhältnisse machen anatomischerseits die Annahme wahrscheinlich, dass die Erregung durch Anstossen der Härchen gegen die Membrana tectoria, oder umgekehrt, erfolge.

Die Nerven treten durch regelmässig gestellte Spalten in die Papilla spiralis ein; sie verlieren dabei ihr Mark und werden sehr fein. Sogleich nach ihrem Eintritt und dann weiterhin unter dem inneren und dem äusseren Pfeiler entwickeln sie durch rechtwinklige Anastomosen einen Plexus der zur Annahme longitudinal verlaufender Nerven den Anlass gegeben hat. Den Zusammenhang der Nerven mit den Stäbchenzellen darf der Physiologe für genügend wahrscheinlich gemacht erachten, der genaue anatomische Nachweis dafür ist sehr schwierig und kann noch immer angefochten werden.

II. Die Klanganalyse.

Die geschilderten Apparate haben die, in der Einleitung besprochenen Wellenbewegungen, als Reiz an die Fasern des N. acusticus zu übertragen. Die dabei auftretenden Eindrücke unterscheiden sich nach Intensität, Höhe und Klang. In diesen Beziehungen tritt also eine Analyse der Welle ein. Für Höhe und Intensität kommen die schon S. 37 besprochenen Gesetze des Mitschwingens in Betracht,

hier werden wir uns daher vorzüglich mit der Erklärung dessen, was unter Klang und Klanganalyse verstanden wird, und was physikalische Untersuchungen darüber lehren, zu beschäftigen haben.

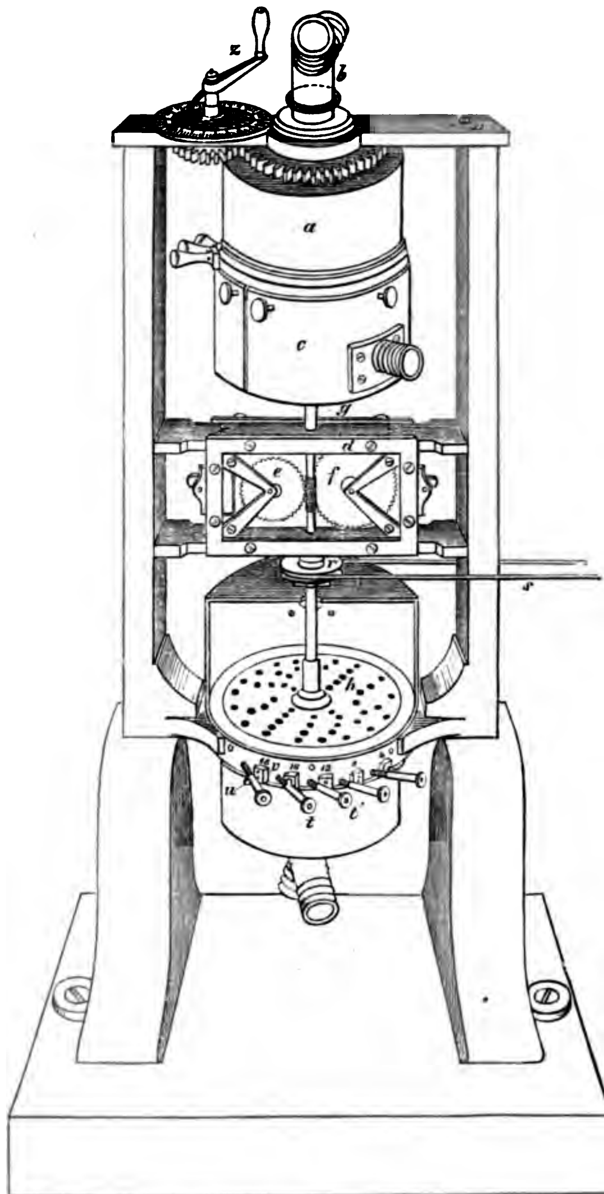


Fig. 27. Doppelsirene, eingerichtet zur Rotation durch Schnurlauf *s* und Rolle *r*. *a* oberer Sirenenkasten, frei um seine Axe drehbar, mit Hülfe des Zeigers *z*, der die Grösse der Drehung angiebt. *b* Windrohr, durch dessen einen Zweig die Luft zutritt, während aus dem zweiten durch ein Kautschukrohr die periodischen Stösse aufs intensivste anderen Gegenständen zugeleitet werden können. *c* Resonanzkasten über der rotirenden Scheibe, gleichfalls mit einem Ableitungsrohr. *d* Zählerwerk. *e* kleines Rad, welches durch eine Drehung der Schraube an der Axe um einen Zahn vorwärts bewegt wird. *f* grosses Rad, welches durch einen hier nicht sichtbaren Vorsprung nach einer vollen Rotation des kleinen Rades um einen Zahn vorwärts geschoben wird. Dies erfolgt nach je hundert Drehungen der Axe *g* der Sirenenscheiben. *h* die Sirenenscheibe des unteren Sirenenkastens, in derselben finden sich 5 Löcherreihen. Die innerste Reihe enthält 4, die äusserste 18 Löcher. Diese Löcher rotiren über einer festen, genau in gleicher Weise durchbohrten Platte, welche hier nicht sichtbar ist. Die Löcherreihen dieser Platte werden durch aneinander liegende, gleichfalls durchbohrte, Ringe für gewöhnlich geschlossen, da die Löcher der Ringe nicht unter den Löchern in der Platte liegen. Durch die Stifte *t* können jedoch die einzelnen Ringe so rotirt werden, dass ihre Löcher unter diejenigen der festen Platte kommen, wo dann die entsprechende Lochreihe der rotirenden Sirenenscheibe so oft von Luft durchströmt wird, wie ihre Löcher sich über denjenigen der festen durchbohrten Scheibe befinden. Dieses Oeffnen der Löcher geschieht durch Hineinschieben des Stiftes *t*. Derselbe nimmt dann die Stellung *t'* an und kann dauernd in dieser Stellung gehalten werden, wenn der kleine Vorsprung *u* hinter den Klotz *v* gelegt wird.

1. *Die Klangfarbe und physikalische Klanganalyse.*

Als man mit der Sirene genauer zu experimentiren anfing, fiel es auf, dass man in Fällen, wo zwar die *Anzahl* der Stösse in der Sekunde gleich, aber die *Art* des Stosses höchst verschieden war, denselben Ton wahrnahm. Es sind zum Zweck der Untersuchung dieser Verhältnisse sehr verschiedene Sirenen gebaut worden, doch leistet die von HELMHOLTZ construirte Doppelsirene, welche Fig. 27 nach einem von mir ein wenig modificirten Exemplar gezeichnet ist, alles Erforderliche.

Da die Luft nur von einer Seite durchgetrieben wird, fehlt scheinbar die negative Welle. Dieser Mangel trifft alle Löcherreihen in gleicher Weise, aber es wird die Bewegung der Luft, welche die Töne erzeugt nothwendig anders ausfallen müssen, wenn die Löcherreihe 4 einen Ton derselben Tonhöhe giebt wie die Löcherreihe 18. Da nämlich, wie man sieht, die Entfernung zwischen den Löchern dieser beiden Reihen sehr verschieden ist, so wird bei gleicher Tonhöhe die Unterbrechung des Luftstroms in der weiter auseinander stehenden Reihe 4 der Löcher einen grösseren Theil der Schwingungszeit T des Tones anhalten, als bei der Löcherreihe 18. Sollte dieser Unterschied der Luftbewegung für unser Ohr spurlos vorübergehen? OHM[116] unterwarf den Gegenstand einer theoretischen Untersuchung. Er fragte sich nämlich, ob die Formeln für einfache Tonschwingungen (s. Formel I und II) auch Geltung haben für so complicirte Schwingungsformen, wie sie von einer Sirene gegeben werden können. Die Entscheidung fand er mit Hülfe des FOURIERschen Theorems, nach welchem jede Schwingungscurve sich mathematisch zerlegen lässt in Reihen von Sinus- und Cosinuscurven, die als Theiltöne aufzufassen sind. Bezeichnet also $F(t)$ irgend eine continuirliche oder discontinuirliche Function von t, der Zeit, welche ganz beliebige, jedoch reelle Werthe hat von $t = -l$ bis $t = l$, wo l die halbe Wellenlänge bedeutet, so ist zwischen diesen Grenzen

$$F(t) = A_0 + A_1 \cos \pi \frac{t}{l} + A_2 \cos \pi \frac{2t}{l} + A_3 \cos \pi \frac{3t}{l} \cdots\cdots$$
$$+ B_1 \sin \pi \frac{t}{l} + B_2 \sin \pi \frac{2t}{l} + B_3 \sin \pi \frac{3t}{l} \cdots\cdots$$

Hierin sind A_0, A_1 und B_1, A_2 und B_2 u. s. w. lauter von t unabhängige Grössen, welche durch Rechnung zu finden sind. Der Ausdruck

$$A_1 \cos \pi \frac{t}{l} + B_1 \sin \pi \frac{t}{l} *$$

stellt den Grundton die zu $A_2 B_2$ gehörigen Werthe den 2. Theilton

116 OHM, Ann. d. Physik LIX. S. 513. LXII. S. 1.

* Der Ausdruck kann auch da $\cos \alpha = - \sin (\alpha - 90)$, geschrieben werden:

u. s. w. dar. Die bei den Stössen resultirende Luftbewegung mit Hülfe dieser Formel analysirt, ergab sich von solcher Form, dass je nach Lagerung der Löcher und Art des Anblasens (ob einseitig oder successiv von beiden Seiten) verschiedene Theiltöne und diese in verschiedener Stärke darin vorhanden sein müssen. Auf Grund dieser Untersuchung sprach OHM aus, dass, wenn unser Ohr nur einfache Sinusschwingungen als Ton auffasse, wir in dem Sirenenton mehrere Töne erkennen müssten; sei letzteres nicht der Fall und sei für ein solches Unvermögen keine anderweite Erklärung zu gewinnen, so werde damit die Definition des Tons als Sinusschwingung als unrichtig erwiesen.

Dem entgegen fand SEEBECK ([52]) experimentell, dass die rechnungsmässigen Theiltöne zur Verstärkung des Grundtons mit beitrügen und wenn überhaupt, nur verhältnissmässig schwach gehört würden. Er fand aber ferner, dass sie nicht nur den Grundton verstärkten, sondern auch auf den Charakter seines Klanges, welcher im Uebrigen der zu Grunde liegenden Bewegung nach, nicht bekannt sei, Einfluss übten.

So blieb die Sachlage seit 1849 stehen bis HELMHOLTZ ([6]) den Gegenstand aufnahm. Er fand OHM's Voraussagen bestätigt, gab aber zugleich die Erklärung von SEEBECK's Befunden. Ein geübtes und aufmerksames, oder mit Resonatoren bewaffnetes Ohr, vermag nämlich in der That die einzelnen Theiltöne, wie sie nach den FOURIER-schen Reihen verlangt werden, zu unterscheiden, ein ungeübtes Ohr bemerkt sie jedoch nicht, sondern hat nur die Wahrnehmung eines Tons von besonderem Klang, je nach Beschaffenheit (Zahl, Lage und Intensität) der vorhandenen Theiltöne. Der Klang oder die besondere Färbung des Tons ist bedingt und ist ausschliesslich die Wirkung der, dem Grundton zugesellten Obertöne, je nach ihrer verschiedenen Zahl, Höhe und Intensität.

HELMHOLTZ hat diesen seinen wichtigen Befund eingehend empirisch begründet. Röhren, Hohlkugeln oder Hohlcylinder wurden mit einer äusseren Oeffnung und einer zweiten Mündung, welche genau in den Gehörgang passte, versehen. Die Luft in diesen Apparaten kommt bei Angabe des Tons, welcher beim Anblasen der Röhre erhalten wird, durch Resonanz in starke Schwingung und wirkt entsprechend auf das Trommelfell ein. Man bezeichnet daher diese Apparate als Resonatoren. Sie resoniren für alle anderen Töne, namentlich für die harmonischen Obertöne gar nicht

---

$$B_1 \sin \pi \frac{t}{l} - A_1 \sin \left(\pi \frac{t}{l} - \frac{\pi}{2} \right)$$

woraus sich unter Berücksichtigung der Formel 7 ergiebt, dass damit eine einfache Sinusschwingung ausgedrückt wird.

oder nur schwach, auch ist ihre Wirkung desto stärker und desto genauer umgrenzt, je enger ihre äussere Oeffnung ist. Man kann sich von diesen Resonatoren eine den Theiltönen eines Grundtons entsprechende Reihe darstellen und mit Hülfe derselben Klänge, die auf den betreffenden Grundton angegeben werden, analysiren. Das Resultat des Versuchs ergiebt für jeden Klang eine entsprechend andere Zusammensetzung seiner Theiltöne, wie des Weiteren bei der Physiologie der Sprache auseinander gesetzt wird. In der Natur

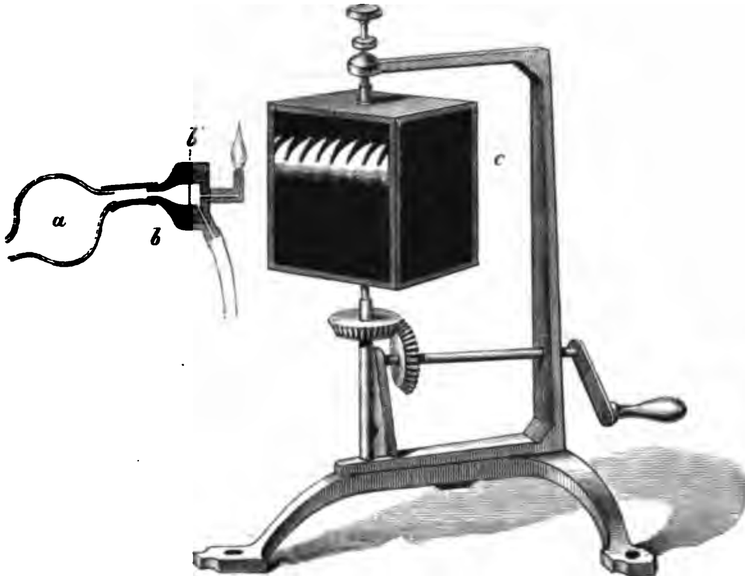


Fig. 28. *a* Resonator. *b* Kapsel nach König, im Durchschnitt. Die Membran *b'* trennt die Luft von dem durchströmenden Leuchtgas, der Ton erschüttert dieselbe und setzt das Gas unter positiven oder negativen Ueberdruck. *c* Der rotirende Spiegel mit dem Flammenbild.

kommt nicht leicht ein Ton ohne Beitöne vor, selbst die Geräusche enthalten viele Töne.

Auch ohne das Ohr zu Hülfe zu nehmen, kann man mit Hülfe der Resonatoren die Zusammensetzung des Klangs aus Tonreihen demonstriren. Wenn man nämlich an das, für den Gehörgang bestimmte Ende eines Resonators einen mit einer Membran überspannten Trichter ansetzt und auf die Membran leichte Körper bringt, so gerathen diese in Bewegung, sobald eine dem Eigenton des Apparats entsprechende Pendelschwingung in einer Klangbewegung vorkommt. Eleganter wird der Versuch, wenn man den Resonator mit einer Kapsel nach König verbindet, deren Brenner anzündet und das Bild der Flamme in einem rotirenden Planspiegel beobachtet.

Man überzeugt sich, dass der Resonator stets eine einfache Sinus-

schwingung erzeugt, denn wenn die Kapsel direct angesprochen wird, gestaltet sich das Bild der Flamme sogleich weit complicirter.

Ohne Hülfsmittel wird ein Theilton am leichtesten gehört, wenn man auf dem Monochord zwei Saiten so nahe gleich stimmt, dass sie weniger wie eine Schwebung in der Secunde geben; reisst man ihre Mitte, so schlägt der 3. Theilton fast dreimal, der 4. fast viermal u. s. w. in der Secunde und das Ohr hört den lauteren dieser schwebenden Theiltöne leicht heraus. Reisst man zwei gleichgestimmte Saiten (von etwa 1 Meter Länge) nahe dem Ende und berührt sie in $1/2$, $1/5$ bis $1/12$ ihrer Länge einen Augenblick leise mit den Fingern, so verschwindet der Klang der Saiten und es bleibt nur der Ton merklich, und noch in der Entfernung wahrnehmbar, welcher an der berührten Stelle einen Knoten hatte. Alle Töne, welche an der berührten Stelle keinen Knoten haben, müssen, wie Theorie und Praxis nachweisen, verschwinden, aber die breite Fläche der Finger dämpft zugleich die höheren Theiltöne desselben Knotens stark ab, weil ihr Knotenpunkt nicht isolirt genug getroffen wird. Die von dem Klang isolirten Töne machen einen sehr charakteristischen Eindruck der Reinheit und wenn man diesen beachtet, hört man viel leichter die einzelnen Töne im ganzen Klang. Uebrigens ist der Klang solcher Saiten je nach Art, Stärke und Härte des Anschlags sehr verschieden. Dies rührt von der, unter jenen Einflüssen verschiedenartigen Beimengung der Obertöne her, vgl. S. 82 Tab. III.

Die Klangbewegung kann in manchen Fällen durch das Vibrationsmikroskop analysirt werden. Es ist dies ein, auf der Branche einer Stimmgabel aufgesetztes Objectiv oder besser Okular eines darüber resp. darunter senkrecht aufgestellten Mikroskops. Ist der Grundton eines schwingenden festen Körpers synchron mit den Schwingungen der Stimmgabel und ist die Richtung, in welcher letztere schwingt, parallel zur Ebene des schwingenden markirten Punktes, aber rechtwinklig gegen dessen Schwingungen, so bildet der Punkt eine Curve von in sich abgeschlossenem Verlauf. Diese Curve, die natürlich die Folge der rasch sich wiederholenden Ortsveränderungen des Punktes selbst und seines Bildes ist, scheint auf einer Cylinderfläche gezeichnet zu sein. Denkt man sie abgewickelt, so erhält man solche Curven, wie sie in der Einleitung gegeben worden sind. Die Anwendbarkeit dieser Art von Analysen ist jedoch beschränkt.

Eine fernere Möglichkeit der Klanganalyse bietet die phonautographische Untersuchung. Dabei verzeichnet der schwingende Theil, meistens eine Membran, mit Hülfe eines Haares oder einer biegsamen Feder seine Schwingungen auf einem berussten Cylinder. Der bis-

her meistens gebrauchte SCOTT-KÖNIG'sche Phonautograph leidet sehr unter den Eigenschwingungen und der nothwendigen Abstimmung seiner Membran, da complicirte Toncurven nicht gut und richtig wiedergegeben werden. Dagegen geben Apparate mit starker Dämpfung, wie z. B. der EDDISSON'sche Phonograph, die Schwingungen weit richtiger, aber zugleich kleiner wieder, die Untersuchung der Curven desselben ist jedoch erst vor Kurzem in Angriff genommen worden.

Einen wichtigen Schritt in einer anderen Richtung haben wir wiederum HELMHOLTZ zu verdanken. Es ist demselben nämlich gelungen, gewisse Klänge aus einfachen Tönen zu componiren. Stimmgabeln haben sehr schwache harmonische Obertöne, und Resonatoren von Kugelform haben nur unharmonische Obertöne welche nicht mit denen, welche Stimmgabeln gleicher Abstimmung geben, übereinkommen.

Wenn daher eine Stimmgabel, unter Verhinderung der Leitung ihres Schalls auf feste Flächen, zum Schwingen gebracht und vor einen entsprechenden Resonator gestellt wird, so resonirt allein der Grundton; man hört ihn als leeren Ton und so klangfrei wie dies die Einrichtung unseres Ohres nur zulässt. Für den Versuch wurde eine Reihe von Stimmgabeln, welche auf die Töne einer zusammenhängenden Reihe von Theiltönen abgestimmt waren, vor Resonatoren gestellt und durch Elektromagneten in Schwingungen versetzt. Die Resonatoren konnten nach Willkür halb oder ganz geschlossen werden, so dass einzelne der Theiltöne ausfielen oder schwach oder stark gehört wurden. Es ergab sich das wichtige und beweisende Resultat, dass auf diese Weise Klänge (es wurden namentlich die Klänge der Vokale untersucht) nach Willkür *aus einfachsten Tönen erzeugt* werden können. Aehnlichen Erfolg hat APPUNN[117] mit Hülfe von Zungenpfeifen gehabt.

Als Beispiel der Intensitäten der Theiltöne in einem Klang möge folgende, von HELMHOLTZ [(6. S. 135)] berechnete, Tabelle (S. 82) dienen. Dieselbe enthält in ihrer 3., 4. und 5. Columne die Klänge, welche ein Flügel in seinen tiefsten Tönen bis zur zweigestrichenen Octave giebt.

Die theoretische Intensität ist nicht strenge identisch mit der Intensität, welche der Ton für unsere Wahrnehmung hat, letztere wird für die Obertöne zum grösseren Theil höher wie hier angegeben, sein. Immerhin kann dies Beispiel als eine Annäherung betrachtet werden. Das Verschwinden des 7. Theiltons rührt daher, dass der Hammer auf dessen Knotenpunkt trifft.

Nach den vorliegenden Erfahrungen sind die Klänge wie folgt zu charakterisiren.

117 Vgl. WOLF, Sprache und Ohr. S. 11. Braunschweig, Vieweg. 1871.

Theoretische Intensität der Partialtöne. (Tab. III.)

Anschlag in 1/7 der Saitenlänge						
Ordnungszahl des Partialtons.	Anschlag durch Reissen	Anschlag durch den Hammer des Instruments, dessen Berührung dauert: 3/7 von der Schwingungsdauer des Grundtons c''	3/10 g'	3/14 C_1—c'	3/20	Anschlag mit einem ganz harten Hammer
1	100	100	100	100	100	100
2	81,2	99,7	189,4	249	285,4	324,7
3	56,1	8,9	107,9	242,9	357,0	504,9
4	31,6	2,3	17,3	118,9	259,8	504,9
5	13,0	1,2	0,0	26,1	108,4	324,7
6	2,8	0,01	0,5	1,3	18,8	100,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

1) Klänge einfachster Töne (Stimmgabeln vor Resonatoren, weite, gedeckte Orgelpfeifen) sehr weich, angenehm und ohne Rauhigkeiten, aber unkräftig und in der Tiefe dumpf.

2) Klänge mit Obertönen bis zum 6. hinauf, sie sind klangvoller und musikalischer. Dabei sind sie, so lange die höheren Obertöne fehlen, völlig wohllautend und weich, sowie reich und prächtig. (Fortepiano, offene Orgelpfeifen, Horn und weichere Töne der menschlichen Stimme.)

3) Wenn nur ungradzahlige Theiltöne da sind, wird der Klang hohl, bei grösserer Zahl von Obertönen näselnd und je nach Ueberwiegen des Grundtons voller oder leerer. (In der Mitte angeschlagene Saiten, Clarinette, enge gedeckte Orgelpfeifen.)

4) Wenn die höheren Theiltöne jenseits des 7. sehr deutlich sind, wird der Klang scharf und rauh. Die Rauhigkeiten werden verursacht durch Dissonanzen zwischen den zu eng liegenden Obertönen. Diesen Klangcharakter haben in mehr oder weniger ausgeprägter Weise die Streichinstrumente, die meisten Zungenpfeifen, Oboe, Fagott, Physharmonica und menschliche Stimme. Sehr kräftig wirken Trompeten und andere „schmetternd" klingende Blechinstrumente. Bei denselben dürften viele dissonirende Obertöne auftreten.

2. Wirkung der Phasenverschiebungen.

Wenn in der Reihe der Theiltöne sich Phasenunterschiede einstellen, also die Curve die Formel hat

$$y = a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\mu}{\lambda}\right) + b \sin 4\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{\nu}{\lambda}\right) \cdots\cdots$$

so complicirt sich die Form der Gesammtbewegung ausserordentlich. Es fragt sich ob die Aenderung, welche eine Klangbewegung durch Phasenverschiebung erleidet, auf unser Ohr einen Eindruck irgend welcher Art macht. Man sollte denken, dass dies der Fall sein müsse.

Zur Entscheidung der Frage benutzte Helmholtz seinen, S. 81 beschriebenen, Resonatorenapparat. Die mathematische Untersuchung ergiebt, dass bei jeder Verstimmung eines Resonators seine Resonanz gegen den zugehörigen Ton nicht nur geschwächt wird, sondern dass zugleich die Phase der Schwingung, welche von dem Resonator ausgehend unser Ohr trifft, sich ändert.

Bei tieferer Abstimmung des Resonators tritt die Phase der grössten Geschwindigkeit etwas früher ein, wie diejenige, der vor dem Resonator schwingenden Gabel, bei höherer Abstimmung tritt sie später ein. Da die Stimmgabeln alle in gleichen Phasen schwingen, weil sie durch den, von einer Unterbrechungsgabel, welche nach ähnlichem Princip wie der Neef'sche Hammer den Strom schliesst und unterbricht, geregelten galvanischen Strom ihre regelmässigen Anstösse erhalten, sind wir auch der Unveränderlichkeit ihrer Phasen sicher. Man hat durch Verengung (Deckung) der Mündung eines Resonators, welches Verfahren diesen tiefer stimmt, die Möglichkeit in der Hand einen Theilton zu schwächen und zugleich in seiner Phase zu verschieben. Man kann aber auch durch Entfernung der Gabel vom Resonator den Ton nur schwächen ohne dabei die Phase merklich zu verändern. Die Combination beider Verfahrungsweisen lässt die Phasenverschiebung abstrahiren.

Die nach diesem Verfahren von Helmholtz (6) angestellten Versuche ergaben ihm, dass die Klangfarbe des musikalischen Theils eines Klangs nur abhängt von der Zahl und Stärke der Theiltöne, nicht von ihren Phasenunterschieden, welche einen wahrnehmbaren akustischen Effekt nicht geben.

Dieselbe Erfahrung macht man, wenn zwei mit Spiegeln versehene Stimmgabeln nach Lissajous' [118] Methode durch das Auge auf ihre Schwingungen controllirt werden. Man sieht den, in beiden gespiegelten Leuchtpunkt allmählich die verschiedenen Formen durchlaufen, welche den Phasenunterschieden der beiden Stimmgabeln entsprechen, man hört aber keine, diesen Phasendifferenzen entsprechende Aenderung des Klangs, sondern hört, bei genügend raschem Wechsel, nur die durch Interferenz hervorgerufene Schwebung.

118 Lissajous, Ann. d. Chemie. 3. Ser. LI. S. 147.

Wenn man eine Reihe von drei oder mehr Theiltönen auf eine König'sche Kapsel vor rotirendem Spiegel einwirken lässt, macht man die gleiche Erfahrung. Man kann den Ton von den Knotenpunkten gut gestimmter Orgelpfeifen nehmen, da die Abstimmung derselben weder genau genug zu machen ist, noch genau genug bleibt, um Phasenverschiebungen während des Versuchs auszuschliessen, oder man kann die Töne von dem Windkasten der Doppeltsirene nehmen und die obere Sirene drehen. Das Ohr bemerkt bei dem Versuch keine Aenderung der Klangfarbe, während das Auge gleichzeitig die auffallendsten Veränderungen des Flammenbildes vor sich gehen sieht. Diese Beobachtungen beziehen sich nur auf die 8 bis 9 ersten Theiltöne eines Klanges, es ist nicht unmöglich, dass bei den höheren Theiltönen Phasenverschiebungen für den Klang von Bedeutung werden, namentlich deshalb, weil diese Töne so dicht liegen, dass sie sich dabei sehr verstärken, oder auch gegenseitig auslöschen können.

Das wichtigste Resultat dieser Untersuchungen bleibt nichts destoweniger bestehen, dass nämlich unser Ohr ungleich dem Auge, nicht die Form der Schwingungen als solche empfindet, sondern sie in die einzelnen Sinusschwingungen, aus denen sie resultirt, zerlegt. Ob das Maximum der einen oder anderen dieser einzelnen Schwingungen ein wenig früher oder später innerhalb der Periode des Grundtons liegt, wird nicht direct empfunden.

3. *Empfindung der Schwebungen.*

Wir haben S. 12 gesehen, dass bei Phasenverschiebung zweier gleichen Töne die Bewegung sich zu einer einfachen Sinuscurve mit einer Amplitude zwischen 0 und der Summe der Amplituden beider Töne, combinirt. Die so entstehende Curve bietet weder für unser Ohr, noch für die mathematische Analyse, Anhalt zu weiterer Zergliederung. Sobald jedoch zwei verschiedene Töne sich nach Intensität und Tonhöhe so nahe stehen, dass die Bewegung *zeitweilig* fast ausgelöscht werden kann, tritt ein zweifaches ein.

Einmal stellt sich ein Schwanken in der Tonhöhe, der sog. Radau'sche Variationston, ein.* Dabei liegt im Maximum der Tonstärke die Tonhöhe *zwischen* derjenigen der beiden Töne, von denen

* Sei die Geschwindigkeit der Bewegung

$$v = A \sin(Mt) + B \sin(Nt + c)$$

wobei $A > B$, so wird nach Helmholtz (5. Beil. XIV) die Schwingungszahl

im Maximum $$M - \frac{(M-N)B}{A+B} = N + \frac{(M-N)A}{A+B}$$

im Minimum $$M + \frac{(M-N)B}{A-B} = N + \frac{(M-N)A}{A-B}.$$

wir den niederen N und den höheren M nennen wollen, beim Minimum ist sie ***höher*** wie M, wenn dies der stärkere Ton ist, dagegen ***niederer*** als N, wenn N stärker ist.

Zweitens werden die Maxima als Tonstösse oder Schläge, die Minima als Tonpausen sehr deutlich gehört. Hier wird also neben der etwa vorhandenen klanganalytischen Thätigkeit noch eine zweite Empfindung im Ohr erzeugt; es bleibt jedoch die Frage noch offen, ob hier wirklich eine zweite Art der Reaction unseres Ohrs vorliege.

Man war längere Zeit geneigt sich der Ansicht von THOMAS YOUNG anzuschliessen, nach welcher sich die, durch Schwebungen verursachten Stösse, ähnlich wie die Luftstösse der Sirene zu der Empfindung eines Tons zusammensetzen, wenn sie sich so rasch folgen, als zur Bildung eines wahrnehmbaren Tons erforderlich ist. In der That hört man in diesem Falle Töne (die sog. Combinationstöne und Stosstöne, KÖNIG), unter denen die leichter hörbaren sich ihrer Schwingungszahl nach so verhalten, wie YOUNG's Ansicht dies verlangt. Wenn also zwei Töne von z. B. 1000 und 1044 Schwingungen gleichzeitig angegeben werden, so kommen ihre Wellen 44 mal in der Sekunde zur Deckung und ebenso oft zur Interferenz, geben also 44 Schwebungen und man hört zugleich den Ton F (44 Schwingungen). Dennoch kann die Ansicht von YOUNG nicht in voller Ausdehnung für richtig erklärt werden.

Das Trommelfell macht nämlich, wie POLITZER experimentell erwiesen hat, die Curve der Schwebungen genau mit. Ein Theilchen desselben würde also bei den Schwebungen sich etwa so bewegen, wie die nachfolgende Curve zeigt.



Fig. 29. Sei a die Ruhelage, so wird das Trommelfell im Verlauf einer Schwebung die, etwa 44 Schwingungen zwischen b und b' vollziehen, aber nicht, wie man nach dem akustischen Eindruck zu glauben geneigt ist, eine Nebenbewegung in Form der Welle des Differenztons, also $b\,d\,d'\,b'$ mit dem Maximum oder Minimum bei d resp. d', oder auch eine Wellenbewegung $b\,d\,b'\,c^2$ resp. $c\,d'\,b'\,b^2$ vollführen.

Ein wirklicher Tonstoss von der Wellenlänge des ersten Differenztons würde sich als Sinuscurve $c\,d\,d'\,b'$ der vorhandenen Bewegung zuaddiren müssen, davon ist aber in der vorliegenden Curve gar nichts zu bemerken. So ist also die genauere Betrachtung einer Schwebungscurve der Ansicht von YOUNG nicht günstig!

Ausserdem ist sicher gestellt, dass 40 und weniger Luftstösse,

welche unser Trommelfell treffen, als Ton zur Wahrnehmung kommen, während nach Helmholtz 130 Schwebungen und den Schwebungen ähnliche Tonstösse noch als solche empfunden werden.

Um recht deutliche Schwebungen zu erhalten, ist es nöthig 1) die beiden interferirenden Töne gleich stark zu machen, damit sie sich völlig auslöschen können, 2) die Tonintervalle klein zu nehmen, damit die interferirenden Wellen sich möglichst vollständig decken. Das Intervall eines halben Tons erfüllt letztere Bedingung genügend. Nehmen wir das Intervall *h c'* (247,5 und 264 Schwingungen) so erhalten wir 16½ Schwebungen in der Sekunde, *h' c''* giebt 33 *h'' c'''* 66, *h''' c* IV. 132 Schwebungen. Beobachtet man diese Reihe an passenden Toninstrumenten, etwa an Orgelpfeifen, so verschwindet zwar schon unter 16 Schwebungen die Möglichkeit der gesonderten Wahrnehmung der Stösse, aber den Tönen bleibt ein Rollen, Schnarren und eine charakteristische Rauhigkeit anhaften, welche noch unzweifelhaft bei 132 Schwebungen besteht, obgleich sie hier unmerklich zu werden beginnt.

Wenn zwei Sekundenpendel zusammenschlagen, kann das Ohr bis zu nahe 1/100'' bestimmen, ob ihre Schläge zusammentreffen oder nicht. Man kann auch eine Zungenpfeife hohen Tons in den Windkasten einer Sirene bringen und von dort anblasen. Wenn dann eine Löcherreihe geöffnet wird, trifft der Ton nur dann das Ohr, wenn die Oeffnung der Scheibe die Löcherreihe passirt. Dabei wird dieser künstlich unterbrochene Ton ebenso rauh und knarrend, wie rasch schwebende Töne, und kann als solcher weit über die Grenzen der Anzahl von Tonstössen, welche für die Bildung eines tiefen Tons erforderlich sind, wahrgenommen werden.

Somit ist es sicher, dass die Schwebungen als solche sich nicht in einen Ton verwandeln können. Es wurde bereits S. 46 besprochen, dass und weshalb bei genügender Tonstärke unter den in Rede stehenden Verhältnissen Combinationstöne entstehen, neuerdings hat König [119] nachgewiesen, dass dabei noch in anderer Weise Töne, welche er als Stosstöne bezeichnet, auftreten, auch Dennert [120] machte ähnliche Befunde. König experimentirte mit sehr starken Stimmgabeln vor Resonatoren und schloss demnach (vgl. S. 81) die objectiven Obertöne aus. Er fand, abweichend von früheren Beobachtern, dass noch weit grössere Intervalle als man früher annahm, Intervalle von 1 : 8 und selbst 1 : 10, Stösse geben können. Diese Stösse lassen sich nach König weder aus den Theiltönen, noch aus den

119 König, Ann. d. Physik. XLVII. S. 177. 1876.
120 Dennert, Arch. f. Ohrenheilkunde. XII. S. 191.

Combinationstönen erklären, da solche auszuschliessen sind. Es werden z. B. bei der Combination des Tons von 64 und 510 Schwingungen 2 Stösse gehört. Um diese aus dem Differenzton zu erklären, haben wir 510 — 64 = 446 v. d. 1. Differenzton, 446 — 64 = 382 v. d. 2. D.-T., 382 — 64 = 318 v. d. 3. D.-T., 318 — 64 = 254 v. d. 4. D.-T., 254 — 64 = 190 v. d. 5. D.-T., 190 — 64 = 126 v. d. 6. D.-T., 126 — 64 = 62 Schwingungen, 7. Differenzton, welcher 2 Schläge mit dem Grundton 64 v. d. giebt. Eine solche Reihe von Differenztönen ist kaum glaublich, auch muss der Ton 510 eine so geringe Intensität haben, wenn die Schläge am deutlichsten werden sollen, dass er sich zur Hervorbringung von Combinationstönen wenig eignet; endlich ist von allen jenen Differenztönen *nichts* zu hören.

Das Resultat von König's ausführlichen Untersuchungen ist, dass die Anzahl der Stösse zweier Töne n und n' gleich dem positiven und „negativen" Rest der Division $\frac{n'}{n}$ ist, d. h. gleich den Zahlen m und m', die man erhält, indem man: $n' = hn + m = (h + 1)\,n - m'$ sagt, wo h der Quotient der Division ist, welche den Rest m ergiebt. Die Sache verhält sich folglich so, als wenn die Stösse von *denjenigen* zwei Obertönen h u. $h + 1$ des tiefen Tons n herrühren, zwischen welche der höhere Ton n' fällt, die stärkeren Schläge rühren dann von dem n' näher gelegenen der beiden Obertöne her. Sowohl die Stösse m als auch diejenigen m' gehen bei genügender Intensität der primären Töne und hinreichender Anzahl, in Stosstöne über. Auch Intermittenzen eines Tones können in einen Ton übergehen, wie mit Hülfe einer Sirene und einer unter der Sirenenscheibe tönenden Stimmgabel gezeigt wird. Man hört einen Ton, welcher so viel Mal schwingt, wie die Löcher die Stimmgabel passiren, so lange nur der Ton der Stimmgabel höher ist, als der Sirenenton. Die Combinationstöne sind viel schwächer, als die Stosstöne.

Diese Resultate scheinen denjenigen von Helmholtz zu widersprechen, jedoch es ist als ein wesentlicher Umstand zu berücksichtigen, dass die Schwebungen sich nicht völlig in einen Stosston umwandeln können, sondern dass stets, und zwar wie es scheint sehr laut, die knarrenden Geräusche den Ton begleiten. Es lösen sich also die Stösse nur theilweise in Töne auf. Die Stosstöne sind wichtig für die später zu besprechende musikalische Theorie, hier ist nur hervorzuheben, dass die Stossbewegung, in einer noch nicht ganz durchsichtigen Weise wohl eine Sinusschwingung der Tongeschwindigkeit m und m', sei es in der Luft, sei es im Gehörapparat, mit hervorbringt. Der für uns

wichtige Satz, dass die Schwebungen an sich als Geräusche bemerkt und als solche bis zu 130 Stössen in der Sekunde wahrgenommen werden, bleibt unverändert bestehen.*

4. *Kleinste Anzahl der als Geräusch oder Ton wahrnehmbaren Tonschwingungen.*

Nur bei einer gewissen Anzahl sich folgender Schwingungen kommt ein Ton als solcher zur Wahrnehmung. Mach [121] brachte ein Toninstrument in einen tondicht geschlossenen Kasten und leitete den Ton durch ein Rohr einerseits an eine König'sche Kapsel mit Brenner, andererseits bis nahe an das Ohr des Beobachters. Von letzterem wurde aber das Rohr durch eine Pappscheibe getrennt. Diese Scheibe war drehbar und wurde mit einem radialen Ausschnitt von veränderlicher Winkelbreite versehen. Sie trug an diesem Ausschnitt einen Spiegel, welcher das Bild des Brenners zu sehen erlaubte so lange der Ausschnitt am Kopfe vorbeiging. Es wurde dafür gesorgt, dass man durch diesen Ausschnitt gleich viel Schwingungen sah und hörte. Die Versuche ergaben, dass erst bei 4 bis 5 Schwingungen ein Ton von bestimmter Höhe erkennbar wurde, bei 2 bis 3 Schwingungen hörte man nur einen trocknen Schlag. König (119) liess den Ton eines Instrumentes durch die Löcherreihe der Sirene gehen und kam dabei zu ähnlichen Resultaten.

Exner [122] führte den Ton aus einem Resonator mit Hülfe eines

* Preyer (5) hat die Untersuchungen von König aufgenommen, im Wesentlichen bestätigt und näher analysirt. Helmholtz war zur Erklärung der Klangwahrnehmung und somit der Erkenntniss der physikalischen Einrichtung unseres Labyrinths auf dem Wege gelangt, dass er die Ansicht von Thomas Young, die Combinationstöne seien Stosstöne, widerlegte. Preyer sieht sich veranlasst, die Combinationstöne wieder als Stosstöne zu bezeichnen. Er findet nämlich, dass die drei Gründe, welche Helmholtz für seine Ansicht geltend machte, nicht mehr haltbar seien. Diese Gründe waren, dass 1) die Summationstöne nicht aus Stössen entstehen können; 2) die Combinationstöne unabhängig vom Ohr existiren könnten; 3) jene Ansicht nicht vereinbar sei mit dem, durch sonstige Erfahrungen bestätigten Gesetz, dem zufolge das Ohr (Schnecke) nur diejenigen Töne empfindet, welche einfachen pendelartigen Schwingungen der Luft entsprechen.

Indem Preyer so auf Young zurückgreift, gewinnt es den, wie ich glaube nicht beabsichtigten, Anschein, als wenn die Klanganalyse des Ohrs dabei in Frage gestellt würde. Wir können jedoch von dem Labyrinth nur verlangen, dass es die Klangbewegung analysire, welche das *Trommelfell* ihm bringt, und den Bau des letzteren haben wir nunmehr als so eigenartig erkannt, dass sich mit hoher Wahrscheinlichkeit behaupten lässt, es sei ihm eigenthümlich, eine Quote der Intensitätsschwankungen (vgl. Fig. 29) in Wellen der Combinationstöne umzuwandeln. Uebrigens ist nicht zuzugeben, dass Combinationstöne nicht objectiv nachzuweisen seien. König (118) hat die Stimmgabeln, welche Stosstöne geben, schreiben lassen, und da zeigen die Curven der paaren Theiltöne unzweideutig Tonwellen der Differenztöne, die folglich auch in der Luftbewegung vorhanden sein müssen; ob alle, lässt sich wegen der ungleichmässigen Schrift der abschwingenden Gabeln nicht erkennen.

121 Mach, Physikalische Notizen. Lotos, August 1873.

122 Exner, Arch. d. ges. Physiol. XIII. S. 228.

Kautschukschlauchs dem in einem anderen Zimmer sitzenden Beobachter zu. Der Schlauch wurde durch einen, in seiner Bewegung genau registrirten Hebel, während gemessener Zeiten geöffnet. Die Untersuchung wurde mit Tönen von 128 und 64 v. d. angestellt. Der erstere Ton brauchte 16,9—17, der letztere 16,8 v. d. um als Ton gehört zu werden. Das Maximum der Intensität wurde erst bei 38 bis 51 Schwingungen gehört. Diese Zeiten sind auffallend lang.

Denselben Gegenstand haben v. Kries und Auerbach[123] in mühsamer Untersuchung verfolgt. Sie bestimmten mit Hülfe eines elektromagnetischen Registrirapparates die Zeit der psychophysischen Vorgänge. Jenes Kapitel ist in diesem Abschnitt der Physiologie nicht abzuhandeln, jedoch mögen hier die das Ohr betreffenden Ergebnisse kurz mit erwähnt sein.

Es lässt sich die Zeit bestimmen, welche zur einfachen Registrirung eines Gehöreindrucks gebraucht wird, in diesem Zeitabschnitt sind zusammengefasst die Vorgänge der Schallleitung, der Nervenerregung im Labyrinth, Leitung in der sensiblen Nervenbahn, Processe in den Ganglien, Leitung in den motorischen Nerven, Stadium der latenten Reizung und Anfang der Muskelcontraction.

Die sehr geübten Beobachter erhielten als Mittel bei Reaction auf den Knall des Inductionsfunkens

Auerbach	0,122 Sekunden
Kries	0,120 „

frühere Beobachter bei verschiedenen akustischen Signalen

Hirsch	0,149 Sekunden
Hankel	0,151 „
Donders	0,180 „
v. Wittich	0,182 „
Wundt	0,128 „
Exner	0,136 „

Wenn das Signal erst gegeben werden durfte, nachdem unterschieden war, ob ein Geräusch (Knall) ein höherer (c. 640 v. d.) mittlerer oder tieferer (c. 400 v. d.) Ton angegeben worden, der Schall also analysirt worden war, fielen die Zeiten länger aus, als Mittel einiger Versuche um 0,023 und 0,046 Sek. länger. Die einfachen Reactionszeiten stellten sich dabei wie folgt:

	Funke	hoher Ton	mittl. Ton	tiefer Ton*
Auerbach	0,198″	0,215″	0,227″	0,236″
Kries	0,194	0,208	0,236	0,237

123 v. Kries u. Auerbach, Arch. f. (Anat.) u. Physiol. 1877. S. 297.

* Es handelt sich hier um leise Töne und wahrscheinlich auch um schwache Inductionsfunken, da starke Funken von den Beobachtern rascher gehört wurden. Die gegebenen Versuchswerthe sind von mir in Sekunden umgerechnet worden.

Es scheint demnach das Geräusch etwas rascher gehört zu werden. Das Erkennen möglichst einfacher Töne dauert bei A. 0,019—0,034 Sek., bei K. 0,049—0,053 Sek.

Unter Reserve wegen der Complication der Versuche kommen die Verfasser zu der Vorstellung, dass 9 bis 10 Schwingungen gewisser Intensität stattfinden müssen um eine Erregung zunächst noch unbestimmten Charakters auszulösen, eine weitere Anzahl von 10 Schwingungen ist erforderlich um den Ton zu erkennen.

Es ist hier noch einer Arbeit von Pfaundler[124] zu gedenken. Derselbe fand mit Hülfe eigenthümlicher, im Original zu vergleichender Anordnung der Löcher und der Anblaseröhren einer Sirenenscheibe, dass im Minimum zwei Schallimpulse genügen können um die Empfindung eines Tons hervorzurufen, doch hält er seine Versuche wegen der Unreinheit der Sirenentöne für nicht ganz einwurfsfrei.

Man sieht dass die Entscheidung über die vorliegende Frage noch suspendirt werden muss.

III. Ableitung der physischen Einrichtung des Labyrinths.

Die mitgetheilten Erfahrungen über die Leistungen des Ohrs dienten Helmholtz dazu, den für unsere Hörempfindung stattfindenden Mechanismus und die Anforderungen, welche an die anatomischen Theile gestellt werden müssen, zu formuliren. Da das Ohr nicht im Stande ist einen Wechsel der Schwingungsform, wie solcher bei Phasenverschiebungen erfolgt, zu unterscheiden, was bei entsprechenden graphischen oder Relief-Darstellungen dem Auge und dem Tastgefühl leicht ist, dürfen wir im Ohr nicht einen eigentlichen Tastapparat erwarten. Dagegen vermag das Ohr, was das Auge nicht unmittelbar kann, die Klangfigur in die einzelnen Theiltöne zu zerlegen. Wenn wir uns in der Natur nach Analogien für solche Zerlegung zusammengesetzter periodischer Bewegungen in Reihen von Sinusschwingungen umsehen, so finden wir keinen anderen Vorgang als die Erscheinung des Mitschwingens. Hierbei sind natürlich nur feste Körper in Betracht zu ziehen. Eine genügend grosse Reihe von Stimmgabeln, ein Klavier ohne Dämpfer, wird durch einen hinreichend stark einwirkenden Klang in Mitschwingung gerathen, und zwar werden alle die Saiten und nur die Saiten, welche den einfachen, im Klang enthaltenen Tönen entsprechen, mitschwingen. Hier findet sich also eine

124 Pfaundler, Sitzgsber. d. Wiener Acad. LXXIV. S. 561. 1877.

ähnliche Trennung der periodischen Bewegung in einfache Componenten auf rein mechanischem Wege, wie wir dieselbe vom Ohr erwarten dürfen. Bei dem Clavier findet sich dadurch eine Unvollkommenheit, dass die Saiten bei naher Tonquelle ziemlich leicht in ihren Obertönen mitschwingen (was durch Belastung der Mitte zu vermeiden wäre) und dass die Intervalle der Klaviertöne zu grosse sind. Davon abgesehen, könnte dem tastenden Finger verrathen werden, welche einzelnen Töne in einem Klang enthalten sind; wir würden so den Klang direct analysiren können. Denkt man sich mit jeder Saite einen Nerven der Art verbunden, dass er durch Schwingungen derselben gereizt werde, verschieden stark, je nach der Amplitude der Schwingungen, so würde damit der Grundriss einer Einrichtung gegeben sein, welche die für eine Klanganalyse erforderlichen Bedingungen erfüllt. Wir werden also nach einer Reihenfolge abgestimmter Apparate zu suchen haben, deren jeder seinen besonderen Nerven habe.

Wollten wir dagegen den Nerven die Fähigkeit zuschreiben, die Anzahl der Erschütterungen welche ihn treffen, einzeln zu empfinden und daraus die Tonempfindung zu gestalten, so würde für die Klanganalyse nichts damit gewonnen sein. Denn die Anzahl der Stösse, welche von einem Klang ausgehen, kann diejenige des höchsten Theiltons und wenn dieser zu schwach ist, diejenige eines der niederen Theiltöne sein und nur diesen Ton würden wir hören, nicht den Klang.

Ist die von HELMHOLTZ vertretene Ansicht richtig, so müssen noch weitere Angaben über die Abstimmung der Theile Geltung haben. Der Vorgang des Mittönens ist nämlich verschieden, je nachdem der Körper lange nachtönt oder seine Bewegung schnell verliert. Körper, welche lange nachtönen sind unter sonst gleichen Verhältnissen des Mittönens in hohem Grade fähig. Bei solchen *können* sich die kleinen Stösse der Einzelschwingungen des erregenden Tons in *langer Reihe* summiren, und dies wird geschehen, wenn diese Stösse genau synchron mit dem Ton stärkster Resonanz des mitschwingenden Körpers sind. Findet *letzteres nicht* statt, so werden sehr bald die positiven Phasen des einen, mit den negativen Phasen des anderen Körpers coincidiren, wodurch die vorhandene Mitschwingung gehemmt, statt gefördert wird.

Schwingt dagegen ein solcher Körper rasch ab, kommt er z. B. schon nach 10 Schwingungen annähernd zur Ruhe, wenn jeder Anstoss aufhört, so kann der einzelne Anstoss nicht über 10 Schwingungen hinaus nachwirken, und daher kommt es nicht darauf an, ob

der 10. Anstoss auf eine merklich andere Schwingungsphase des abschwingenden Körpers treffen würde, wie der erste, wenn nur der 2., 3. u. s. w. Anstoss den Körper beinahe in richtiger Phase und der 10. ihn wenigstens in einer die Schwingung nicht hemmenden Weise trifft. In solchem Fall wird also der anstossende Ton schon etwas von dem Resonanzton des schwingenden Körpers abweichen dürfen, ohne einen viel geringeren Effekt, als ein genau übereinstimmender Ton, hervorzubringen, es wird aber der resonirende Körper überhaupt nicht in starke Mitschwingungen versetzt werden können.

Zur Uebersicht des Zusammenhangs dieser Verhältnisse hat Helmholtz eine Tabelle berechnet. Ein mitschwingender Körper, welcher von einer, seinem Resonanzton gleichgestimmten Tonquelle zu einer Intensität des Mitschwingens = 100 gebracht ist, wird ausschwingend, früher oder später, je nach dem Grade seiner Dämpfung, auf 1/10 der früheren Intensität gekommen sein. Derselbe Körper wird durch eine, bis auf einen gewissen Grad verstimmte Tonquelle zum Tönen in 1/10 der Intensität 100 gebracht werden. Beides hängt nach dem Obengesagten zusammen und dieser Zusammenhang ist nach der Rechnung folgender.

Tab. IV.

Differenz der Tonhöhe, durch welche die Intensität des Mitschwingens auf 1/10 reducirt wird.	Zahl der Schwingungen, nach welchen die Intensität des abklingenden Tons auf 1/10 reducirt wird.
1. Ein achtel Ton	38,00
2. Ein viertel Ton	19,00
3. Ein halber Ton	9,50
4. Drei viertel Ton	6,33
5. Ein ganzer Ton	4,75
6. Fünf viertel Ton	3,80
7. Kleine Terz (3/2 Ton) .	3,17
8. Sieben viertel Ton . .	2,77
9. Grosse Terz (2 Töne) .	2.37

Es wird zu fragen sein, welche dieser Dämpfungsstufen der tonempfindende Apparat unseres Ohres haben wird? Da zwei rasch nach einander angeschlagene Töne, namentlich wenn die Anschläge wie beim Trillern sich wiederholen, vom Ohr nur dann deutlich und gesondert wahrgenommen werden können, wenn die erste Tonerregung nahe verschwunden ist sobald die zweite erfolgt, so ist hier ein Moment gegeben, das als Grundlage der Prüfung unserer mitschwingenden Labyrinththeile dienen kann. Da zwei, um das Intervall eines halben Tons von einander abstehende Klänge, einen scharfen Miss-

klang geben, wenn sie gleichzeitig erklingen, muss nothwendig dasselbe entstehen, wenn sie so rasch hintereinander angeschlagen werden, dass die Empfindung des einen Tons noch nicht genügend erloschen ist, sobald diejenige des anderen schon genügend stark entwickelt ist. Dieser Fall findet sich beim Trillern im Allgemeinen nicht, doch steht zu erwarten, dass gerade dabei die Bedingungen für sein Eintreten zu erzielen sein werden. Die Untersuchung birgt manche praktische Schwierigkeiten, sowohl bezüglich der Technik und der Zeit des objectiven Verklingens des Tons, als auch weil durchstehend gleich stark wirkende Töne zur sicheren Vergleichung nöthig sind. Helmholtz sucht jedoch auf diesem Wege zu einer annähernden Entscheidung zu kommen und macht deshalb die Annahme, dass ein Abklingen bis auf $^1/_{10}$ der durch die betreffenden Töne gesetzten Erregung ausreiche, um die Nervenreizung genügend verschwinden zu lassen. Er findet, dass jeder der beiden Töne beim Trillern etwa 5 mal die Sekunde angeschlagen werde, und dass auf zahlreichen für den Zweck untersuchten Instrumenten Triller vom *A* mit 110 Schwingungen abwärts schlecht klingen und von keinem Künstler gut ausgeführt werden können.

Man kann also sagen: da beim Trillern auf *A B* das *A* nach $^1/_5$ Sekunden neu angeschlagen wird, muss der beim *A* mitschwingende Theil nach $^{110}/_5$, also 22 Schwingungen schon sehr merklich leise schwingen, wenn das *A* uns als von Neuem angeschlagen erscheinen soll. Nehmen wir an es schwinge bis $^1/_{10}$ der ursprünglichen Intensität ab, so würde es der 2. Reihe in Tab. IV angehören; die Dämpfung würde also so gross sein, dass der um $^1/_4$ Ton erhöhte oder verringerte zugehörige Ton eine Mitschwingung bis zum eben Merklichen hervorrufen kann. Um mit dem *B* keinen Misston zu geben, muss er aber schon nach $^1/_{10}$ Sekunde, also nach 11 Schwingungen wenig merklich geworden sein. Es ist daher richtig, mit Helmholtz anzunehmen, dass die Dämpfung etwa der 3. Stufe Tab. IV, in welcher die Differenz eines halben Tons die Schwingung auf $^1/_{10}$ herabsetzt, entspreche. Unter dieser allerdings noch sehr willkürlichen Annahme lässt sich folgende Tabelle für die Intensität des Mitschwingens berechnen.

Tab. V.

Differenz der Tonhöhe.	Intensität des Mitschwingens.
0,0	100
0,1	74
0,2	41

Differenz der Tonhöhe.	Intensität des Mitschwingens.
0,3	24
0,4	15
halber Ton	10
0,6	7,2
0,7	5,4
0,8	4,2
0,9	3,3
ganzer Ton	2,7

Auch die Empfindungen der *Schwebungen* werden von HELMHOLTZ auf die Mitschwingung der elastischen Theile bezogen. Er hebt (6. S. 272) hervor, dass Schwebungen im Ohr nur bestehen können, wenn zwei angegebene Töne in der Scala nahe genug liegen um ein elastisches Nervenanhängsel gleichzeitig in Mitschwingung zu versetzen, wo dann natürlich je nach der Phase entweder Verdoppelung oder Auslöschung der Bewegung eintreten wird. Die Richtigkeit dieses Satzes ist unbestreitbar und gewiss wird ein rascher Wechsel der Schwingungen für das Ohr ebensowenig eine harmonische Empfindung aufkommen lassen, wie eine intermittirende und flackernde Beleuchtung dem Auge angenehm ist.

EXNER [125] glaubt, dass für die Empfindung der Stösse und wohl aller Geräusche, der Apparat für die Klanganalyse würde ausreichen können. Nachdem er gefunden hat, dass die kleinsten wahrnehmbaren Zeitdifferenzen sich auf 0,002 Sekunden belaufen, weist er nach, dass eine auf den Ton 4000 abgestimmte Faser unter Annahme des 3. Dämpfungsgrades Tab. IV schon 8 Schwingungen in 0,002 Sekunden machen würde, also genügend gedämpft sein würde, um durch einen zweiten Stoss eine neue Erregung zu setzen. Der elektrische Funke mit dessen Hülfe obige Zahl erlangt wurde, bringt nach Untersuchungen von TÖPLER [126] in der Luft nur einen einfachen Stoss hervor, dagegen erzeugt ein einzelner, ja selbst mehrere Tonstösse, wie wir sehen noch keine Tonempfindung. Daraus müsse man den Schluss machen, dass doch der Klangapparat nicht den Knall des Funkens werde zur Wahrnehmung bringen können. Diesem Bedenken stelle sich jedoch die Beobachtung gegenüber, dass bei Variation der Schnelligkeit, mit welcher sich Funkenreihen folgen, die Empfindung eines höher oder tiefer Werdens des Geräusches deutlich eintrete. Diese Erfahrung würde entweder denn doch auf die Be-

125 EXNER, Arch. f. d. ges. Physiol. XI. S. 417.
126 TÖPLER, Beobachtungen nach einer neuen opt. Methode. Bonn, Cohen. 1864.

theiligung des klangempfindenden Apparates deuten, oder sie würde auf einen zweiten Apparat, der gleichfalls Höhen- und Tiefenempfindung hervorzurufen vermag, zu beziehen sein. Zwei verschiedene Endapparate von Sinnesnerven, welche beide die gleiche Empfindung der Tonhöhe hervorrufen, stimmen nicht mit unseren Kenntnissen von den Sinnesorganen überein und widersprechen den „Gesetzen der specifischen Sinnesenergie". Setze man voraus, dass das Zustandekommen und der Grad der Erregung in der Nervenfaser nicht allein abhänge von der Elongation der aus ihrer Gleichgewichtslage geführten, abgestimmten Faser, sondern auch von der Geschwindigkeit mit welcher diese Faser ihre Bewegung ausführe, so liege darin eine Erklärung der stosspercipirenden Thätigkeit des Klangapparates.

In Verfolgung dieser Möglichkeit weist EXNER nach, dass der erste Ausschlag einer verschieden abgestimmten Feder, welche durch einen Wasserstrahl constanter Periodicität angesprochen wird, stets nahe dieselbe Form hat, möge auch die spätere Schwingungsform noch so sehr unter dem Einfluss der jeweiligen Abstimmung der Feder stehen. Es bringe daher der erste Anstoss in allen Fasern des Klangapparates dieselbe erste Schwingung, nämlich von der Wellenlänge des einwirkenden Tons hervor. Bei sehr kurzen Schallwellen, wie die des elektrischen Funkens (3 mm nach TÖPLER) werde die erste Bewegung der Faser sehr schroff und steil sein müssen und daher wohl eine besondere Empfindung auslösen können.

Wir gerathen hier auf ein sehr dunkles Gebiet, das aber doch, so weit unsere Kenntnisse gestatten wollen, besprochen sein muss. Der Knall des Funkens bringt nach EXNER's Untersuchungen eine jedenfalls sehr kleine Bewegung des Trommelfells hervor; man kann einsehen, wie eine solche stark genug sein kann um bei Wiederholungen eine einzelne Saite mitschwingen zu machen, aber die Erregung aller Theile des Klangapparates zugleich scheint wenig wahrscheinlich, auch würde dann durch Nachschwingung in den tiefer gestimmten Theilen der zweite Funke verlöscht werden müssen. Eine sehr plötzliche Bewegung wird ebensowohl durch einen Ton starker Amplitude wie durch eine sehr kurze Welle hervorgebracht werden, wie soll der Nerv beides unterscheiden? Könnte er dies, so würde er auch Phasenverschiebungen bemerken können, da dabei die Steilheit der Gesammtwelle sich bedeutend ändert. Die Unterscheidung der Tonhöhe scheint aus zwei Gründen nicht solche Beweiskraft zu haben, wie oben angenommen. Es ist nämlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass das Trommelfell auf den einfachen Stoss, falls derselbe denn wirklich einfach ist, was neuere Untersuchungen nicht recht bestätigen,

Nachschwingungen mache, namentlich aber scheint die Entstehung von KÖNIG's Stosstönen oder wenn man lieber will von Combinationstönen bei Versuchen mit Reihen von Funken, wohl unvermeidlich zu sein. Ferner ist die Empfindung der Höhe und Tiefe der Töne nicht nothwendig unmittelbar mit dem Klangapparat verknüpft. Jeder Ton erweckt sein besonderes Gefühl wie J. J. MÜLLER ([57]) eingehend begründet hat, aber die Tonhöhe spielt dabei keine unmittelbare Rolle. Einfache Leute mit gutem Gehör nennen die Töne je nach der Höhe grob oder fein, ihnen ist der besondere Klang mit diesen Eigenschaften behaftet, aber nicht damit identisch. Zur Entscheidung ob ein Ton höher oder tiefer sei, wird sehr häufig der Grad der Anstrengung untersucht, welche der Kehlkopf macht, indem er beide Töne zu reproduciren sucht. Ob daher die Höhe und Tiefe des Tons eine einfache Empfindung und nicht vielmehr ein complicirterer Act, bei dem das Gedächtniss wesentlich mitwirkt, eine Wahrnehmung ist, erscheint noch zweifelhaft.

Es entsteht aber die weitere Frage, ob ein gesonderter Apparat für die Empfindung der Stösse und Geräusche angenommen werden kann?

Es ist klar, dass ein und derselbe elastische Körper durch die interferirenden Wellen bewegt werden muss, wenn wir die Schwebungen, welche zwei Töne mit einander geben, empfinden sollen, aber es scheint darum doch nicht nothwendig zu sein auf die abgestimmten Organe des Labyrinths, auf den Klangapparat zurückzugreifen. Das Trommelfell erfüllt nämlich bereits die oben gestellte Bedingung und vielleicht hängt es schon von dem Grade der Dämpfung und der Ungenauigkeit seines Mitschwingens ab, wenn sehr rasche Stösse kaum wahrgenommen werden. Durch das Trommelfell werden die Schwebungen dem Labyrinthwasser mitgetheilt und es ist gewiss nicht zu bezweifeln, dass auch die abgestimmten Theile davon ergriffen werden können, jedoch werden die Intervalle etwas gross, wenn es sich um die Mitschwingung ein und desselben Theils handelt. Schweben z. B. *a* und *h* miteinander, so würde die Faser für *b* am stärksten in Schwebungen versetzt werden müssen, sie würde jedoch, weil sie durch jeden der beiden Töne nur $1/10$ mal so stark wie es sein könnte, erregt wird, immer nur schwach mitschwingen und es scheint, dass wir den Ton *b* müssten schwebend hören können, während wir in der That wechselnd *a* und *h* hören. Um ein Urtheil über den Einfluss der *Verschiedenheit* sich rasch folgenden Schalls auf das Unterscheidungsvermögen zu gewinnen, ersuchte ich den Observator hiesiger Sternwarte, DR. PETERS, um eine

bezügliche Vergleichung einiger, ihm in grosser Anzahl zur Verfügung stehender Chronometer. Derselbe hatte die Güte mir folgende Tabelle mitzutheilen. Es wurden die Coincidenzen je zweier Chronometer beobachtet und berechnet und diese Chronometer waren so gewählt, dass die Stärke des Schlages nahe gleich war, während bei 1 der Klang sehr nahe gleich, bei 2 wenig verschieden, bei 3 ziemlich stark verschieden und bei 4 sehr verschieden war. Sämmtliche Uhren schlagen halbe Sekunden. Die erste Beobachtungsreihe ist voll wiedergegeben, von den drei anderen sind nur die Fehler angegeben.

Tab. VI.*

No. 1. (Knoblich No. 1816. — Tiede No. 106.)							No. 2	No. 3	No. 4
Beobachtet			Berechnet			Fehler	Fehler	Fehler	Fehler
h.	m.	s.	h.	m.	s.	s.	s.	s.	s.
13	40	35	13	40	33,53	— 1,47	+ 0,34	— 0,73	— 1,13
„	43	44	„	43	44,52	+ 0,52	+ 1,08	— 1,86	+ 0,55
„	46	55	„	46	55,52	+ 0,52	— 1,17	+ 0,02	— 0,78
„	50	7	„	50	6,51	— 0,49	— 0,42	+ 2,89	+ 1,89
„	53	17	„	53	17,51	+ 0,51	+ 0,32	+ 0,76	+ 0,56
„	56	27	„	56	28,50	+ 1,50	— 0,94	— 0,37	— 0,76
„	59	39	„	59	39,49	+ 0,49	— 0,19	+ 0,51	— 1,09
14	2	51	14	2	50,49	— 0,51	+ 0,56	+ 0,38	+ 0,58
„	6	2	„	6	1,48	— 0,52	+ 0,30	— 0,75	+ 2,26
„	9	13	„	9	12.48	— 0,52	+ 0.04	— 0.87	— 2,07
			mittlerer Fehler			± 0,90	± 0,73	± 1,36	± 1,48
			grösster Fehler			1,47	1,17	1,86	2,26

Es ergiebt sich dass die besten Beobachtungen diejenigen sind, bei denen der Klang der Tonquellen etwas verschieden war. Bei sehr starker Verschiedenheit wird nach Ansicht des, in diesen Untersuchungen sehr geübten Beobachters, die Aufmerksamkeit leicht einem der beiden Klänge besonders zugewendet und dadurch die Beobachtung gestört.

* Berechnet nach der Methode der kleinsten Quadrate; als Unbekannte dienten der Fehler der ersten Beobachtung und die mittlere Zwischenzeit zwischen je zwei Coincidenzen. Die gefundene Zwischenzeit war z. B. für No. 1 3 m. 11 s., sie ist mit einem Fehler ξ behaftet, der Fehler der ersten Beobachtung sei z. Dann hat man

$$\text{A.}\left\{\begin{array}{l} 13\text{ h. } 40\text{ m. } 35\text{ s.} = 13\text{ h. } 40\text{ m. } 35\text{ s.} + z \\ 13 \text{ „ } 43 \text{ „ } 44 \text{ „} = 13 \text{ „ } 43 \text{ „ } 46 \text{ „} + z + \xi \\ 13 \text{ „ } 46 \text{ „ } 55 \text{ „} = 13 \text{ „ } 46 \text{ „ } 57 \text{ „} + z + 2\xi \\ 13 \text{ „ } 50 \text{ „ } 7 \text{ „} = 13 \text{ „ } 50 \text{ „ } 8 \text{ „} + z + 3\xi \end{array}\right. \quad \left.\begin{array}{l} \text{woraus } 0\text{ s.} = + z \\ \text{„ } 0 \text{ „} = + 2 + z + \xi \\ \text{„ } 0 \text{ „} = + 2 + z + 2\xi \\ \text{„ } 0 \text{ „} = + 1 + z + 3\xi \end{array}\right\}\text{B.}$$

u. s. w. Die Gleichung B, nach der Methode der kleinsten Quadrate aufgelöst, geben schliesslich für No. 1 $z = -1{,}47$ s., $\xi = 0{,}006$. Diese, in A eingesetzt, geben den berechneten Werth.

Die Forderung, dass ein und derselbe abgestimmte Theil die Vergleichung am genauesten mache, wird durch obige Reihen nicht gestützt. Nicht zu verkennen ist es, dass ein einheitlicher Apparat, der jeden Stoss und jede Stossfolge des Steigbügels zur Empfindung brächte, grossen Nutzen gewähren könnte. Für solche Apparate scheint die Erfüllung folgender Bedingungen unerlässlich. Es müssen nämlich die diesem Apparat zugehörenden Ganglienzellen, die, dem Nervensystem zukommende Eigenschaft, sich an continuirlich und gleichmässig treffende Reize zu gewöhnen und dieselben zu vernachlässigen, in besonders starker Ausbildung besitzen. Da wir wissen, dass das Auge sich viel weniger schnell als das Geruchsorgan an Reize gewöhnt, so ist gegen eine solche Annahme nicht allzuviel einzuwenden, aber der Beweis, dass wirklich eine so überaus rasche Gewöhnung stattfinde, wird schwierig sein.

Zur Zeit wäre hier nur eine Eigenthümlichkeit in der Empfindung der Schwebungen tieferer Töne geltend zu machen. Bei Schwebungen von weniger als 30 mal in der Minute verfolgt das Ohr die An- und Abschwellung des Tons sehr vollkommen. Schwebt der Ton aber zwischen etwa 30 bis 180 mal die Minute, so hat man durchaus nicht diejenige Empfindung, welche die Curve Fig. 29 verlangt, sondern der Ton wächst wie die Curve von *b* bis *d* oder bis zur Mitte, bricht dann aber plötzlich ab, als wenn die Curve schon bei *d'* so niedrig würde wie sie bei *b'* ist. Die Töne „schlagen“ und zwar nicht etwa so wie man einen Hammerschlag hört, sondern so wie man den Schlag ausführt, langsam beginnend, rascher werdend und plötzlich endend. Die obige Annahme würde diese auffallende Erscheinung erklären können, ohne dass den abgestimmten Theilen neue Eigenschaften beigelegt werden müssen.

Eine interessante Beobachtung über die Leichtigkeit mit der sich das Ohr gewöhnt, berichtete Delboeuf [127], der sich an das Geräusch eines Wasserfalls so völlig gewöhnt hatte, dass er beim Horchen darauf glauben konnte, der Wasserfall habe aufgehört, während er doch so laut war, dass er es erschwerte, Tischgespräche zu führen. Diese Beobachtung passt allerdings nur im Allgemeinen auf die vorliegende Frage.

Haben wir ferner in dem Labyrinth oder an der Labyrinthwand einen Theil, der unbedingt die Bewegung des Wassers mitmachen muss und ist dieser Theil durch Empfindung vermittelnde Fäden mit

127 Delboeuf, Théorie générale de la Sensibilité. Mémoires couronnés p. l'Académie de Belgique 1875. p. 38.

einem relativ festen Theil verknüpft, so wäre der Geräuschapparat gebildet. So würden sich verhalten, einerseits: Hörhärchen und Macula acustica, andererseits als weniger beweglicher Theil: Crista acustica resp. die schwer bewegliche Otolithenmasse.

Ein solcher Apparat würde Toneinsätze, plötzliche Schwellungen des Tons und Stösse bis zu einer gewissen Häufigkeit anzeigen, dagegen durch periodische Bewegungen von einiger Dauer und Häufigkeit kaum erregt werden, weil er sich an dieselben rasch gewöhnt. Dagegen würde eine solche Klangbewegung, wie Figur 3, allerdings wohl unter Umständen Geräuschempfindung veranlassen können, ob dies dabei wirklich statt hat, bedürfte weiterer Untersuchungen.

Das Resultat dieser Betrachtungen ist also, dass jedenfalls eine Reihe von Nervenanhängen gesucht werden muss, welche mit einer gewissen Dämpfung auf die Reihe von Tönen, die wir hören können, abgestimmt wäre. Daneben ist vielleicht einem zweiten Apparat nachzuforschen, welcher Stösse und Schwebungen zur Wahrnehmung bringt.*

IV. Vergleichende Morphologie des Labyrinths und Würdigung der Apparate desselben.

Soll nun nach diesen Apparaten gesucht werden, so tritt die vergleichende Morphologie in ihr Recht, da sich erwarten lässt, dass sie die Organe in allen Stufen von grösster Einfachheit an, uns vorführt.

Die Otolithensäcke finden sich in sehr grosser Verbreitung. Akalephen und Rippenquallen, Würmer, Bivalven, Cephalophoren und Cephalopoden, endlich die Makruren unter den höheren Krebsen, weisen viele Ordnungen auf, innerhalb deren Otolithen regelmässig vorkommen. Bezüglich der Beschaffenheit dieser Bildungen findet ein ziemlich grosser Wechsel statt. Bei den Knochenfischen, Cephalopoden, Cephalophoren, einzelnen Lamellibranchiern, einigen Krebsen und craspedoten Akalephen finden sich die Otolithen als compacte, härtere oder sehr weiche, krystallinische Steine; bei den höheren Wirbelthieren und den Rochen, bei vielen Würmern, Bivalven und Rippenquallen u. a. m. sind es Krystallanhäufungen in mehr oder weniger schleimiger Grundlage, die einzelnen Krystalle rhombisch oder mit abgerundeten Spitzen und Kanten; bei vielen Krebsen endlich sind es von aussen aufgenommene und an die Endapparate ge-

* Preyer (5) vertritt gleichfalls die Ansicht, dass ein besonderer Theil des Ohres für Stösse u. s. w. in Anspruch zu nehmen sei.

brachte feine Sandkörnchen, welche bei jeder Häutung erneut werden müssen. Ein physiologischer Grund für die Verschiedenheit des Baus dieser Theile ist nicht anzugeben, wahrscheinlich ist sie nur ein Ausdruck der chemischen Eigenthümlichkeiten und der Structur des ganzen Organismus; es ist daher wohl nicht anzunehmen, dass die Gestaltung der Otolithenmasse für den Hörvorgang Bedeutung habe.

Man kann eine Gruppe der ruhenden und der durch Cilien bewegten Otolithen unterscheiden. Letztere finden sich bei Cephalophoren, Bivalven, Würmern, Rippenquallen und selbst noch bei Fischen (Cyclostomen). Die Otolithen drehen sich und schwanken hin und her, wo Otokonie vorhanden ist, stossen die einzelnen Krystalle mit einem, in Folge der anzuwendenden Vergrösserung, rasch erscheinenden Impulse gegen einander. Ein Vortheil dieser Einrichtung besteht darin, dass die Otolithen völlig frei suspendirt gehalten, ein Nachtheil, dass sie, ausser von Schallstössen, auch noch durch die Cilien erschüttert werden. Vielleicht sind die Stösse zu leise, um Störungen zu verursachen, vielleicht wird das Thier durch Gewöhnung dagegen unempfindlich, etwas Sicheres lässt sich natürlich nicht aussagen.

Es ist für die höheren Krebse der Befund gemacht, dass die Endapparate, welche den Otolithen tragen, resp. in den Otolithensand hineinragen, so weit aus der Form zu entnehmen ist, abgestimmte Apparate sind. Dem Otolithensand des Hummers anliegend sind z. B. 468 Nervenendhaare gezählt, von denen keines die gleiche Grösse hat und die sich in continuirlicher Abstufung folgen. Das grösste ist 0,72, das kleinste 0,14 mm. lang, und da alle anderen Dimensionen ähnlich abnehmen, ergiebt sich ein Massenunterschied von 140:1. Mit den Dimensionen von Orgelpfeifen verglichen, würde obige Reihe etwa 3 Octaven umfassen. Aehnlich wird der Otolith von Mysis (Fig. 30. A) von 57 Haaren getragen, welche eine Reihe von, auf der einen Seite des Halbkreises, in welchem diese Haare stehen, ziemlich groben, auf der anderen Seite sehr fein werdenden Härchen bilden.

Bei den sehr viel feineren und kürzeren Otolithenhaaren der Weichthiere und Wirbelthiere sind solche Abstufungen entweder nicht vorhanden oder wegen zu grosser Feinheit der Theile nicht erkannt. Aus Hasse's Untersuchungen geht hervor, dass die Schnecke sich aus der allmählichen Umwandlung eines Otolithensackes hervorbildet, daher könnte man daran denken, dass dabei eine Trennung von Funktionen eintritt, welche ursprünglich alle dem Otolithensack zukommen, aber dann natürlich minder entwickelt sind.

Hörhaare. Ausser den Otolithen finden sich bei den Krebsen in demselben Raum, welcher die Steine birgt, oder an derselben Stelle (erstes Glied der inneren Antenne), wo sich bei anderen Krebsen Otolithen finden, zuweilen ausserdem an der Körperoberfläche, frei stehende Nervenanhänge, deren Bedeutung als Hörhaare nach Art, Structur und Anordnung als sehr wahrscheinlich bezeichnet werden kann. Diese Härchen stehen theils in einer Linie von z. B. bei Carcinus maenas 40 Stück, und bestehen aus ausserordentlich feinen, sehr langen, annähernd gleichgrossen Gebilden (Fig. 30. B), welche den geschlossenen Raum in zwei Hälften theilen und in sehr vielen Verhältnissen an die Härchenbildung in der Ampulle erinnern. An anderen Stellen des geschlossenen Sacks finden sich sehr flache, lanzettförmige Härchen verschiedener Grösse auf einem Fleck vereint, an dritter Stelle Bildungen, die in Allem den Otolithenhaaren gleichen. Letztere Form, die bei Mysis z. B. auch auf bestimmten Stellen der Körperoberfläche vorkommt, zeigt auch Volumensunterschiede, aber doch nicht so auffallend und nicht in so regelmässiger Vertheilung, wie bei den Otolithenhaaren. Der Bau aller dieser Anhänge ist so beschaffen, dass eine Erschütterung sich wohl in Nervenreizung umsetzen kann, wenn dieselbe genügend rasch und intensiv erfolgt, denn das Nerven-

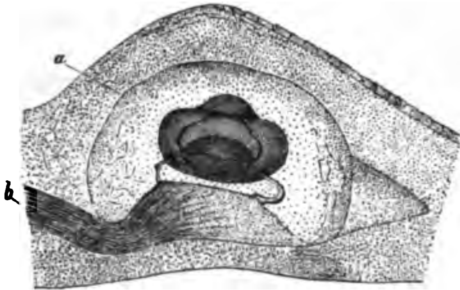


Fig. 30. A. Otolithensack von Mysis. *a* der Otolithensack. *b* der Nerv, zu einer Vorwulstung im Sack gehend. Der geschichtete Otolith ist ohne Weiteres deutlich. Von dem Kranz der Haare, welche ihn tragen und ihm eingewachsen sind, sieht man rechts ein grösseres, links ein kleineres. Vergrösserung 70 mal.



Fig. 30. B. Hörhaar aus dem Hörsack von Carcinus maenas. *a* das Haar, an seiner Spitze einen gefiederten Anhang tragend. *b* Chitinhaut des Buckels, auf dem diese Haare stehen. *c* der Hörnerv, in eine Ganglienzelle *e* auslaufend, von der aus sich ein Faden *f* bis in die kuglige dünnwandige Auftreibung, mit welcher das Haar beginnt, fortsetzt. Dieser Faden hat in Wirklichkeit die halbe Länge des Haars und ist hier nur, der Raumersparniss wegen, kürzer gezeichnet.

ende wird durch Erschütterungen des Haars hin und her gerissen. Wenn diese Bildungen als Homologa der Ampullenhärchen aufgefasst werden dürfen, so deutet die Verschiedenartigkeit ihrer Formen darauf hin, dass mehr Leistungen von diesen Gebilden gewährt werden können, als unsere jetzige Einsicht von dem akustisch Erforderlichen, erkennen lässt.

Die Gehörorgane der Insecten zeigen eine ganz andere Beschaffenheit, so dass man kaum weiss, ob man sie als zahlreiche Otolithenapparate, ob als Hörhaare deuten soll. Nur das ist physiologisch beachtenswerth, dass z. B. bei Locusta eine regelmässige, auf akustische Abstimmung deutende, Grössenabstufung der Apparate sehr hervortritt.

Der Bau der Otolithenapparate und halbcirkelförmigen Kanäle der höheren Thiere hat bis jetzt keine besonderen Anhaltspunkte für die physiologischen Anschauungen gegeben, dagegen bietet der complicirteste Apparat, die Schnecke, allerdings einige Anhaltspunkte für die Art, wie die physikalischen Desiderate erfüllt werden.

Nachdem die Ansicht von E. H. WEBER[128], dass die Schnecke zum Hören durch die Kopfknochen Verwendung finde, nicht genügend gerechtfertigt erschien, glaubte HELMHOLTZ (6) in diesem Organ den Apparat für die Klanganalyse suchen zu sollen. Die Hörsteinchen, in einer schleimigen Flüssigkeit suspendirt, seien regelmässiger Schwingungen weniger fähig, und eher geeignet, einzelnen Stössen nachzugeben, dasselbe gelte wohl auch von den Härchen in den Ampullen, da Körperchen von so geringer Masse in ihren Bewegungen nicht lange verharren können. Es lässt sich nicht leugnen, dass die Klanganalyse von sehr ausgedehnter Wichtigkeit für das Hören ist, und dass die Ausdehnung, in welcher wir dieselbe benutzen, einen sehr complicirten Apparat erforderlich macht, und eine hohe Leistung ist. Daher erscheint die von HELMHOLTZ getroffene Wahl, dem am höchsten organisirten, am spätesten entwickelten Apparat — der Schnecke — diese Aufgabe zuzuschreiben, von vornherein gerechtfertigt.* HELMHOLTZ exemplificirte die abgestimmten Organe zunächst an den Bogenpfeilern, diese sind jedoch an Grösse nicht genügend verschieden (115a), auch zeigten HASSE's (113) Untersuchungen, dass bei Vögeln, deren Hörfähigkeit für Sprache und Ton für manche

128 E. H. WEBER, De utilitate cochleae. Prol. IV. 1829.

* Ich hatte früher, z. Th. durch den Befund abgestimmter Theile bei niederen Thieren veranlasst, geltend gemacht, dass der Schnecke wohl eine höhere Leistung als nur die, durch Töne erregt zu werden, zukomme, da das Mitschwingen auf Töne einen relativ einfachen Apparat erfordert. Letzteres ist bei näherer Betrachtung für in Wasser schwingende Theile wohl nicht so einfach, und bekenne ich gerne, dass ich jetzt mehr noch wie früher der Darstellung von HELMHOLTZ zustimme.

Species erwiesen ist, die Bogenpfeiler gänzlich schwinden und von den eigenthümlichen Apparaten der Schnecke nur die Stäbchenzellen, die Membr. basilaris und die Membr. Cortii übrig bleiben. HENSEN hatte schon früher ([115a]) darauf aufmerksam gemacht, dass die Membrana basilaris der abgestimmte Theil sein dürfte, da ihr eigenthümlicher Bau und ihre continuirliche Verbreiterung von Anfang bis zu Ende des Kanals die Annahme nahe legten, dass die einzelnen, den Saiten entsprechenden Radien eine, von den hohen bis zu den tiefen Tönen hinunter continuirlich fortgehende Abstimmung hätten.

HELMHOLTZ prüfte diese Ansicht durch Rechnung. Unter der Annahme, dass die Membran in der mit den Schneckenwindungen parallelen Richtung nicht gespannt sei, sondern nur in der darauf normalen, ergiebt seine, tief in die Mechanik der Elasticitätslehre eingehende Rechnung, auf welche hier nur verwiesen werden kann (s. Beil. XI), Folgendes.

Wenn die bewegende Kraft Z einen Theil $-\nu \frac{dz}{dt}$ hat, der von der Reibung herrührt, und wenn sie einen periodisch veränderlichen Druck $A \cos (nt)$ ausübt, ergiebt sich, wenn m eine ungerade Zahl ausdrückt und $\frac{1}{m} S_m$ die Amplitude der betreffenden Schwingungsform der Membran sein soll, dass ist:

$$S_m = \frac{\mathfrak{S}}{\sqrt{1 + \frac{m^4 \pi^4 Q^2}{n^2 \nu^2} \left[\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{b^2}\right]^2}}$$

In diesem Ausdruck bedeutet $\frac{n}{2\pi}$ die Schwingungszahl des Tons. $\mathfrak{S} = \frac{4A}{\pi n \nu}$ ist das Schwingungsmaximum, welches bei bester Abstimmung gewonnen werden könnte. Q ist die radiäre Spannung der Membran gemessen in der Einheit, welche der Spannung in der Quadratfläche μ der Membran das Gleichgewicht halten würde. β ist die Breite der Membran an der betreffenden Stelle und endlich b der Werth von β, welcher der Maximumbedingung von S_m nämlich

$$m^2 \pi^2 Q - \beta^2 \mu n^2 = 0$$

Genüge leistet.

Sobald ν, der Reibungscoefficient, unendlich klein ist, wird S_m nur dann einen endlichen Werth haben, wenn $b - \beta$ von derselben Ordnung ist wie ν. Dies kann nur für sehr schmale Streifen der Membran stattfinden, von denen dann der erste eine, der zweite zwei, der dritte drei schwingende Abtheilungen hat, deren Länge $\frac{\beta}{m}$

überall denselben Werth hat. Je grösser ν desto breiter werden die schwingenden Abtheilungen. Es wird also jeder Ton auch die Stellen mitschwingen machen, welche den ungraden harmonischen Untertönen entsprechen, wenn die Membran gleichmässig belastet, die Knoten also gleichmässig vertheilt wären. Die Intensität derselben wäre dann noch mit den Factoren $\frac{1}{9}\ \frac{1}{25} \cdots \frac{1}{m^2}$ zu multipliciren, würde also sehr rasch unmerklich werden. In der That bemerkt man von Mitschwingungen harmonischer Untertöne nichts.

Demnach ist es gerechtfertigt, die Annahme, dass die Membr. basilaris der abgestimmte Theil sei, weiter zu verfolgen. Die Consequenz würde sein, dass die aufsitzenden Theile ins Besondere die Papilla spiralis auf und abwärts bewegt werden, die auf den Huschke'schen Zähnen haftende Membrana Cortii würde dagegen, insofern sie nur den Stäbchen der Corti'schen Zellen aufruht, nicht mitschwingen, sondern je nachdem, von den Stäbchen in die Höhe gedrückt oder losgelassen werden. Dies gilt allerdings nur für den Fall, dass die Membrana Cortii selbst keine nennenswerthe Abstimmung habe, aber das kann wohl angenommen werden. Die Erregung der Nerven würde nach dem Princip des Heidenhain'schen Tetanomotors geschehen, indem die mit einer Art Tastapparat versehenen (Fig. 25) Endzellen gegen die, wie wir sahen, an entsprechender Stelle verdichtete Substanz der Membr. Cortii anstossen; den Bogenfasern würde eine gewisse Nachgiebigkeit gegen zu starke Stösse beizumessen sein. Die Anzahl der Zellen entspricht etwa den Anforderungen, welche empirisch an die Zahl der abgestimmten Theile gestellt werden müssen. Die Erregung der Nerven hat an sich nichts specifisches, aber jeder Nerv mit seiner Ganglienzelle ist eine Individualität, welche als solche sich kenntlich macht, und welche wir mit Hülfe des Gedächtnisses als diesem oder jenem Ton zugehörig, wiederzuerkennen vermögen.

Eine solche Hypothese zu bilden ist gewiss die Aufgabe der Wissenschaft, aber es wäre unwissenschaftlich, auf dieselbe ein nennenswerthes Gewicht zu legen, so lange die bestätigenden Thatsachen noch so lückenhaft sind, wie zur Zeit. Die Möglichkeit, dass der vorhandene Apparat noch in anderer Weise wirke, als wir es voraussetzen, ist gewiss vorhanden, und es muss nach solchen Möglichkeiten gesucht werden.* Erweist sich unsere Hypothese nicht

* Rinne ([21]) hat sich in eingehender Weise gegen die Hypothese des Mitschwingens der Schneckentheile, wie Helmholtz sie ursprünglich formulirte, gewendet. Sein Standpunkt ist dabei der, dass der Nutzen einer Klanganalyse durch das Ohr nicht

haltbar, so kann nur das eine gewünscht werden, dass die Physiologie nicht in die Unmöglichkeit zurückfalle, sich eine plausible Vorstellung über die Function der akustischen Organe zu bilden.

Eine nicht unerhebliche Schwierigkeit für unsere Vorstellungen bildet

Die Schallwellenleitung im Wasser des Labyrinths.

Wir haben gesehen, dass der Steigbügel mit grosser Kraft auf die Perilymphe stösst; es ist die Frage zu erledigen, welche Bewegung der Flüssigkeit daraus resultirt. Wäre die Labyrinthkapsel allseitig geschlossen, so würde der Stoss, welcher die Flüssigkeit trifft, von Molekül zu Molekül sich fortpflanzend, als Kugelwelle an die Knochenwandungen schlagen und theils durch dieselben weiter gehen, theils reflectirt werden. Um unter diesen Umständen nennenswerthe Verschiebungen der Moleküle zu erhalten, würden so grosse Kräfte erforderlich sein, dass der Steigbügel sie kaum liefern könnte. Die Bewegungen desselben würden jedenfalls enorm herabgesetzt werden. Wir betrachten daher mit Helmholtz (32) diese Molekularschwingungen, so weit sie überhaupt in der nicht ganz geschlossenen Labyrinthkapsel entstehen können, als zu klein, um in Betracht zu kommen.

Da in dem Labyrinthwasser die Dimensionen der ganzen Masse verschwindend klein gegen die Wellenlänge sind und die Wände des umschliessenden Felsenbeins beim Menschen so fest sind, dass sie den hier in Betracht kommenden, geringen Druckkräften gegenüber, als absolut fest betrachtet werden dürfen, so geschieht aus denselben Gründen, welche S. 50 bei den Gehörknöchelchen zur Sprache kamen, die Ausbreitung des Stosses so gut wie augenblicklich und das Labyrinthwasser bewegt sich nicht merklich anders, als eine ab-

---

einzusehen sei. Für die Wahrnehmung eines Accordes wäre nichts gewonnen, wenn die Nervenfaser a als Partialsubject für die Wahrnehmung des Tones α die Nervenfaser b für die des Tones β functionire, denn es müsse ein über beiden stehendes Subject vorhanden sein, welches befähigt ist, aus dem Contact mit den Nervenfasern a und b in gewisser Weise die Töne α und β zu reproduciren. Sei dies doch nöthig, so sei der ganze hypothetisch statuirte künstliche Mechanismus der Klanganalyse eigentlich überflüssig. Bewegungen, die doch einmal bestimmt seien, innerhalb unserer Seele zu räumlich ungetrennten, rein intensiven Zuständen derselben zusammenzufliessen, bedürften auch wohl zur Erreichung dieses Zieles nicht getrennter Wege. Dem physikalischen Mechanismus von Helmholtz sei ein psychischer Mechanismus entgegenzustellen, durch den die Seele die durch ein und dieselben Nervenfasern ungetheilt zugeführten Eindrücke zerlege.

Das Herbeiziehen von seelischen Vorgängen, mit denen ja Alles zu erklären ist, in die Physiologie des Ohrs, welche nur die geordnete Verwandlung von Ton- in Nervenbewegung und deren Verlauf zu erforschen hat, heisst die Geltung der naturwissenschaftlichen Lehrsätze für dies Gebiet leugnen.

solut incompressible und daher der Schallschwingungen unfähige Flüssigkeit. Sie wird daher von der Steigbügelplatte fortgeschoben werden, sobald in dem Labyrinth ein Platz zum Ausweichen vorhanden ist. Orte an denen die Flüssigkeit ausweichen kann sind 1) die beiden Oeffnungen des Aquaeductus vestibuli. Indem hier Flüssigkeit eintritt wird sie an den Otolithen vorbeistreichen und in die Säcke Bewegung bringen. Dabei werden nach Helmholtz[129] wohl Wirbelbewegungen in den halbcirkelförmigen Kanälen entstehen.

Die Flüssigkeit kann 2) ausweichen in die Blutgefässporen des Knochens, 3) in den Aquaeductus cochleae, 4) gegen die Paukenhöhle durch Ausbuchtung der Membr. tympani secundaria. Dass ein erheblicher Theil des Stosses auf dem letzteren Wege sich ausgleicht, ist namentlich nach Mach's Untersuchungen, wie wir S. 49 sahen, unzweifelhaft.

Bei solchen Verschiebungen entwickelt die Flüssigkeit eine grosse Reibung; wird der Finger in eine Flüssigkeit getaucht, welche von einem Ton durchsetzt wird, so fühlt man diese Reibung sehr deutlich. Daher erscheint es weit bemerkenswerther, wenn ein Nervenanhang sich unter diesen Einflüssen nicht mitbewegt, als wenn er mitschwingt.

Es ist noch etwas genauer auf die Wasserbewegung in der Schnecke einzugehen. Da die Bewegung bei Tonerregung momentan an der Fenestra rotunda anlangt, kann sie nicht durch das Helikotrema gehen, denn wäre dies der Fall, so würde keine Zeit für die Entstehung einer Druckdifferenz zwischen den beiden Flächen der Membr. basilaris sein oder besser umgekehrt: da die Membr. basilaris nachgiebig ist, wird der Druckausgleich nicht durch das Helikotrema, sondern durch sie hindurch stattfinden. Das Helikotrema mag zum Druckausgleich bei sehr langsamen Druckänderungen dienen. In der Membr. basilaris werden die abgestimmten Streifen am ausgiebigsten der Wasserbewegung nachgeben, die Stellen der graden Theiltöne am wenigsten. Die Frage wird sein: an welchen Stellen die Nervenerregung eintritt? Kann die dicke, auf fester Unterlage sich stützende und mit Faserzügen (Fig. 26), deren Richtung den Widerstand erleichtert, versehene Membrana Cortii dem Druck der Flüssigkeit widerstehen, so würde die Flüssigkeit an der dünnen Epithelfläche der Zona pectinata zuerst einen Eindruck machen, es würde von hieraus der abgestimmte Membranstreifen in Bewegung gesetzt und die Stäbchenzellen würden folglich gegen die Membrana

129 Helmholtz, Ueb. discontinuirliche Flüssigkeitsbewegungen. Monatsber. d. Berl. Akad. 23. April 1868.

Cortii vibriren. Ist aber letztere Membran gegen Druck nachgiebig, so würde sie überall auf die Stäbchen niedergedrückt werden; diesem Druck würden die mit dem Ton gleichgestimmten Streifen am leichtesten weichen, die Streifen der jeweiligen graden Obertöne am schwersten, die Erregung würde also an letzteren Streifen gesetzt. Mir scheint, dass der Bau der Zona pectinata und ferner die Eigenthümlichkeit, dass die Membrana Cortii diesseits derselben aufhört die erstere Annahme, dass die Bewegung von der Zona pectinata aus beginne, als die wahrscheinlichere erscheinen lässt; es bleibt aber zwischen den zwei so verschiedenen Erregungsmodalitäten die Wahl leider noch offen.*

V. Experimentelle Beobachtungen über Bewegung der Nervenanhänge.

Mikroskopische Beobachtungen über die akustischen Bewegungen der Apparate können angestellt werden, weil manche niederen Thiere durchsichtig genug sind, um den Gehörapparat unverletzt zur Beobachtung zu bringen und weil man an der Verbreiterung der Contouren solcher Theile das Vorhandensein von Schwingungen erkennen kann, ohne jede Schwingung einzeln sichtbar machen zu müssen. Leider war bisher die gewonnene Ausbeute sehr gering.

Ranke[130] hat das Gehörorgan lebender Heteropoden beobachtet. Die Wand der Ohrblase dieser Thiere ist mit, auf circa 50 isolirten Polstern sitzenden, Cilien versehen. An dem einen Pol der runden, einen grossen Otolithen bergenden Blase sind diese Cilien durch Bündel starrer Härchen, die ohne Zweifel als Hörhaare zu deuten sind, vertreten. Der Stein füllt die Blase bei weitem nicht aus.

In der akustischen Ruhe liegen alle Cilien der Innenwand der Gehörblase an, der Otolith schwebt in der Mitte der Blase. Bei jedem stärkeren Schall schnellen die Cilien (welche lang genug sind, um den Otolithen ausgedehnt zu berühren), blitzschnell gegen den Otolithen auf. Dadurch wird derselbe in relativ fester Stellung gehalten und zugleich gegen die Stelle der Hörhärchen angedrängt. Letzteres erklärt sich aus der grossen Kürze der Cilien jener Seite. Die Schallbewegung würde sich durch Wasser und Wandung der Blase auf die Stäbchen übertragen, der Otolith wird bei stärkeren

* Der Eigenton abgestimmter Theile ist im Wasser einige Tonstufen tiefer als in der Luft, es ist aber nicht möglich für die Theile des Labyrinths genauere Aussagen zu machen.

130 J. Ranke, Ztschr. f. wiss. Zool. XXV. Supplementband S. 77.

akustischen Reizen (über deren Art nicht berichtet ist) in eine Stellung zu den Nervenanhängen gebracht, welche ihm gestattet, gegen sie anzuschwingen. Er wird dabei ebensowohl die Function eines Tetanomotors wie seiner grossen Masse halber, die eines Dämpfers haben.

Bei einer Nachuntersuchung des Gegenstandes ist es mir nicht geglückt den Otolithen in vollständiger Ruhe zu sehen, die Thiere waren, wie Ranke verlangt, völlig lebenskräftig. Es scheint dass der Otolith bei Ruhe der Cilien auf den Boden der Blase sinken müsste, was jedoch nicht beobachtet worden ist. Bei Einleitung des Tons ins Wasser mit Hülfe von Membranen traten häufig die von Ranke beschriebenen Bewegungen auf. Dieselben traten jedoch auch ein, ohne dass eine Tonerregung stattzufinden schien. Es machte den Eindruck als wenn, wie dies auch Claus[131] angiebt, die Hörhärchen sehr fein ausliefen, ähnlich wie an der Crista acustica von Fischen, so dass ich über ihr Ende nicht klar wurde. Es ist wohl möglich, dass sie lang genug sind um fortwährend dem Otolithen in kürzerer oder längerer Strecke anzuliegen.

An den Hörhaaren von Krebsen sind von Hensen (9, S. 374) einige Versuche gemacht. Die Thiere (Mysis) reagiren auf jeden Schall sehr lebhaft, so lange man die Versuche nicht zu häufig wiederholt. Es ergab sich bei Beobachtung der Hörhaare auf der Körperoberfläche, dass dieselben bei Zuleitung starker Töne in Schwingung kamen und dass namentlich der Nerv dabei hin und her bewegt wurde, ferner zeigte sich, dass verschiedene Haare auf verschiedene Töne am stärksten reagirten. Letzteres Verhalten scheint gar nicht anders zu deuten zu sein als so, dass die Haare als abgestimmte Organe zu betrachten seien, denn die Unvollkommenheiten der Tonzuleitung und des Toninstrumentes mussten alle Theile gleichmässig treffen. Die wirkliche Abstimmung des Haares konnte nicht ermittelt werden, da nur mit einem Klapphorn als Tonapparat experimentirt werden konnte. Einige Beispiele deuten darauf hin, dass es Untertöne der wahren Abstimmung waren, welche die Erregung setzten. Die Härchen waren jedoch bei keinem genügend starken Ton völlig bewegungslos und es ist, wie Helmholtz richtig bemerkt, nur der Nachweis, dass solche Theile schwingen und abgestimmt sein können, an diesen Versuchen von Interesse. Rinne (21) hat die Versuche einer genauen Analyse unterworfen, und findet, dass sie sich nicht mit den theoretischen Postulaten des Mitschwingens abgestimmter Theile decken. Da jedoch nur Schätzungen und keine messenden Versuche vorliegen, gehen

131 Claus, Arch. f. microscop. Anat. 1876. S. 103.

seine Ansprüche an die theoretische Genauigkeit der gegebenen Beispiele zu weit.

Die genauere Untersuchung bietet weit mehr Schwierigkeiten als sich voraussehen liess, so dass auch erneute Versuche mit besseren Apparaten nur Einiges hinzufügen lassen. Als einfachster und wirksamster Zuführungsapparat des Schalls erweist sich ein Rohr von circa 1 Cm. Lichtenweite, welches mit der Tonquelle möglichst direct verbunden und mit einer ganz schlaffen Membran überzogen, ins Wasser versenkt wird. Die meisten Versuche sind jedoch mit dem Apparat Fig. 18 gemacht worden.

Die Reihe der sehr langgestreckten Hörhaare von Carcinus maenas, welche den Härchen der Ampulle in allen Verhältnissen so sehr nahe stehen, konnten nach Eröffnung des Gehörraums beobachtet werden. Dieselben kommen durch Stösse, welche das Wasser treffen in starke pendelnde Bewegung, wenn diese periodisch alle 3 Secunden bis etwa 5 mal die Secunde sich wiederholen. Die Bewegung ist die eines im Wasser vertical angeketteten Holzsparrens, welcher natürlich den Fluctuationen des Wassers folgt. Töne und Schwebungen verursachten keine nennenswerthen Bewegungen.

Der Otolith von Mysis zeigt die am meisten auffälligen Bewegungen bei Schwebungen und zwar schien es, als wenn die Seite des Steins, welche auf den grösseren Hörhaaren ruht, bei langsameren, diejenige der feineren Hörhärchen bei rascheren Schwebungen die grösseren Excursionen zeigte. Die Gewinnung genauer Maasse und Zahlen gelang bisher nicht; wie ich meine, weil die Apparate, Sirene und Orgelpfeifen, mit denen der Ton zugeleitet wurde, noch nicht an Kraft und Regelmässigkeit das leisteten, was für messende Bestimmungen nothwendig ist. Aehnliches gilt für die freien Hörhaare, von denen manche, wie mir schien, höhere Töne erforderten als der Zeit in genügender Weise zur Verfügung standen, während andere und zwar grössere und bestimmte kleinere, durch langsamere Schwingungen von 10 bis 40 die Sec. in starke Mitbewegungen kamen. Dieselben erstreckten sich dann nicht nur auf den Theil, wo der Nerv sich ansetzt (Lingula), sondern das ganze Haar federte auf der kugelförmig erweiterten Ansatzstelle.

Diese Versuche muss ich als erste Anfänge bezeichnen, die vielleicht nur den Weg zur Ausdehnung unserer Beobachtungen angeben, während die Physiologie umfassendere Untersuchungen abwarten muss, ehe sie daraus eine Lehre gestalten kann.

DRITTES CAPITEL.

Die Leistungen des Gehörapparates für seine ersten Ganglienfelder.

I. Bereich der Tonempfindung.

Die Grenzen der Tonempfindung nach Höhe und Tiefe sind nicht genau zu bestimmen. Es zeigt sich nemlich, dass die Intensität der Töne an den Grenzen unverhältnissmässig gesteigert werden muss, um die Bewegungen als Ton zu empfinden und dass das Unterscheidungsvermögen für die verschiedenen Töne hier so stumpf wird, dass Verwechslungen schwer zu vermeiden sind. (Dies entspricht übrigens der von Hensen für das obere Ende der Papilla spiralis in der Schnecke angegebenen Unvollkommenheit des Baues, die Radix ist wenig studirt.) Da wir also an den Grenzen keine klare Tonempfindung mehr haben, liegt die doppelte Gefahr vor, dass wir Obertöne resp. Differenztöne für den Grundton halten, und dass die sehr starke Bewegung die letzten Endapparate noch mit erschüttert, obgleich deren Stimmung höher resp. tiefer liegt. Solche Täuschungen scheinen bei den älteren Versuchen von Sauveur[132], Chladni[133], Biot[134], Wollaston[135] und Savart[136] zu nicht richtigen Resultaten geführt zu haben, da sie durch Schwingungen von Saiten ([133] u. [134]) oder durch Stösse eines Zahnrades gegen ein Kartenblatt ([136]) die Grenzen festzustellen suchten. Depretz[137] und namentlich Helmholtz ([6]) haben nachgewiesen, dass bei solchen Versuchen mit tiefsten Tönen die Obertöne sehr kräftig zur Wahrnehmung kommen und in der That allein gehört werden. Der Nachweis geschieht namentlich durch Beobachtung der Schwebungszahl, welche die Sirene bei Drehung des oberen Kastens bei den scheinbar tiefsten Tönen giebt, es zeigt sich dass man die Octave hört.

Um diese Obertöne auszuschliessen, belastete Helmholtz eine Saite in ihrer Mitte durch ein Kupferstück, wodurch die näher liegenden Theiltöne ausgeschlossen werden. Dann beobachtete er die Schwingungen durch einen Schlauch, welcher sein Ohr mit dem rings ge-

132 Sauveur, Hist. de l'acad. roy d. sciences. Anné 1700. II. édit. Amsterd. 1734. Hist. p. 190. (citirt nach Preyer.)
133 Chladni, Die Akustik. Leipzig 1802.
134 Biot, Lehrb. d. Experimentalphysik. Dtsch. v. Fechner. II. S. 13 u. 21. 1829.
135 Wollaston, Philosophical Transaction. p. 310. London 1820.
136 Savart, Ann. d. Physik. 1830 u. 31.
137 Depretz, Compt. rend. XX. p. 1215. 1845.

schlossenen Resonanzkasten verband. Bei 34 Schwingungen hörte die Tonempfindung auf, doch gaben sehr schwere Stimmgabeln bei 9 mm. Amplitude noch eine Tonspur für 28 Schwingungen die Secunde.

PREYER [138] ist weiter gekommen. Er benutzte eine Reihe von 24 Metallzungen von 8 bis 40 Schwingungen, welche in zum Anblasen eingerichteten Kästen standen. Bei dem Anblasen wird ein Dröhnen unbestimmter Art gehört, lässt man die Zungen dann ausschwingen, so hört das Ohr einen tiefen, summenden Ton, den man wohl auf die einfachen Schwingungen beziehen muss. Die Tiefe des Tones nimmt zu bis 24 Schwingungen, bei grösserer Tiefe nimmt die Intensität sehr rasch ab, aber während bei 14 Schwingungen gar kein Ton zu hören ist, vermag PREYER einen Ton schon bei 16 Schwingungen zu hören, während andere Personen dies erst bei 19 bis 23 Schwingungen können. Es müssen diese Versuche jedoch geübt werden, auch ist die musikalische Bestimmung dieser tiefen Töne schlechterdings unmöglich.

Wie bei den tiefsten Tönen die Grenze der Tonempfindung immer weiter hinausgeschoben wurde, haben auch die Grenzen für die Empfindung der höchsten Töne sich erweitert. CHLADNI und BIOT fanden die Grenzen bei 8192 Schwingungen. WOLLASTON scheint nach PREYER bis 25000 Schwingungen gekommen zu sein, auch war er der erste, welcher mit Hülfe des Zirpens von Grillen die grossen individuellen Verschiedenheiten für die obere Tongrenze des Menschen nachwies. SAVART kam mittelst des Zahnrades dazu, wohl 24000 Schwingungen hörbar zu machen, während DESPRETZ mittelst Stimmgabeln noch 32000 Schwingungen in der Secunde als Ton empfand.

Es lässt sich jedoch die Zuverlässigkeit der Bestimmungen dieser Zahlen bezweifeln, denn das Ohr unterscheidet bei so hohen Tönen die Intervalle nicht mehr deutlich, und Abstimmung sowie Controle der Instrumente wird schwierig. Man muss daher die Tonhöhe mittelbar feststellen. KÖNIG benutzte bei dieser Bestimmung die Beziehung, welche zwischen den Longitudinal- und Transversal-Schwingungen eines Stabes besteht. Ist nemlich N^1 die Anzahl der Longitudinalschwingungen des ganzen Stabes, N die der Transversalschwingungen, wenn der Stab an zwei Enden aufgelegt ist, l die Länge und r der Radius des Stabes, so ist

$$N^1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g\varepsilon}{5}}; \quad N = \frac{\pi r}{4l^2}\sqrt{\frac{g\varepsilon}{5}}.$$ Daher

138 PREYER, Ueb. d. Grenzen d. Tonwahrnehmung. Physiol. Abhandl. Jena, Duft. 1876. Neuerdings (5) ist eine weitere Bestätigung des Befundes mit Hülfe sehr schwerer Stimmgabeln publicirt worden.

$$N = \frac{\pi r}{2l} \cdot N^1.$$

Man braucht daher nur den Longitudinalton eines sehr langen cylindrischen Stabes zu bestimmen, um dann aus demselben Stücke entnehmen zu können, welche durch Transversalschwingungen jeden Ton geben müssen, dem ihre Länge nach obiger Formel entspricht. Es zeigte sich, dass der Ton c^{VIII} von 32768 Schwingungen fast von Niemandem gehört wurde, wohl aber tiefere Töne desselben Stabes. Viele Personen hören Stabtöne bis zu 20000, manche nur bis 12000 Schwingungen.

Appunn hat eine Reihe von Stimmgabeln, welche bis zu 40460 Schwingungen gehen, construirt und dieselben mit Hülfe von Differenztönen abgestimmt. Es zeigt sich, dass Preyer und viele Andere den höchsten Ton ohne Schwierigkeit hören und dass bis zu ihm hinauf eine Zunahme der Tonhöhe wahrgenommen wird. Sonderbarer Weise gesellen sich bei vielen Personen den höchsten Tönen unangenehme Sensationen bei, Schmerz im Ohr, Hautgefühle im Nacken u. s. w. Die eigentliche Grenze nach Oben scheint mit jenen 40000 Schwingungen noch nicht erreicht zu sein. Die höchsten Töne können kaum stark genug gemacht werden, um das, wie ich glaube etwas rigide, menschliche Trommelfell zum Schwingen zu bringen.

II. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen.

Die Genauigkeit, mit welcher das Ohr kleine Differenzen in der Zahl der Schwingungen ähnlicher Tonquellen zu unterscheiden vermag, ist eine sehr grosse. Dies hat sich namentlich durch Preyer's(135) Untersuchungen herausgestellt. Bei den Versuchen wird zunächst für eine solche Gleichmässigkeit der Tonquelle und Tonangabe gesorgt werden müssen, dass ein und derselbe Ton immer als solcher wieder erkannt werden kann; ebenso müssen Tonanfang, Stärke und Abschluss gleichmässig wiederholt werden können. Dies wurde von Preyer mittelst eines Tondifferenzapparates von Appunn erreicht, welcher bestand aus 11 Zungenpfeifen von 500 bis 501 Schwingungen mit je $^1/_{10}$ Differenz, 6 Pfeifen von 1000 bis 1001 mit je $^1/_5$ Schwingung Differenz und dann noch den Tönen 504, 508, 512, 1008, 1016, 1024, 2048, 4096. Dieselben waren mit Hülfe von Schwebungen abgestimmt. Ungeübte Personen unterschieden innerhalb der Octaven c(128) bis c''' 1024 v. d. einen Unterschied von 8 bis 16 Schwingungen, Uebung bringt sie bald weiter. Sehr geübte und musikalische Menschen haben eine so nahe übereinstimmende Unterschiedsempfindlichkeit, dass präcisere Aussagen gemacht werden können.

Es ergiebt sich, dass überhaupt nur ein Unterschied von ⅓ Schwingung erkannt werden kann und auch dies nur in der Gegend von a′ bis c″, darüber und darunter nimmt das Unterscheidungsvermögen ab; über c^V kommen Irrthümer bis zu 100, ja bis 1000 Schwingungen vor. Preyer hat über die Empfindlichkeit für Tondifferenzen innerhalb der gebräuchlicheren Töne folgende Tabelle gegeben. In derselben bedeuten: n die Schwingungszahlen, d die Differenz, welche n hinzuzufügen ist, um einen Unterschied hörbar zu machen: $a = \frac{1}{d}$ die auf die Einheit reducirte sog. absolute Unterschiedsempfindlichkeit und $E = \frac{n}{d}$ die relative Unterschiedsempfindlichkeit.

Tab. VII.

n	d	a	E
120	0,418	2,39	287
490	0,363	2,75	1212
500	0,300	3,33	1666
1000	0,500	2,00	2000

E. H. Weber [139] hat auf Grund früherer Versuche, die von Delezenne, W. Weber und namentlich Seebeck ([52]) herrührten, erklärt, es komme für die Unterscheidung nicht darauf an, ob innerhalb der gebräuchlichen Grenzen die verglichenen Töne hoch oder tief lägen, denn nicht die Zahl der Schwingungen, sondern das Verhältniss der Zahl der Schwingungen werde verglichen. Diese Aussage, und somit dieser Theil des psychophysischen Gesetzes, bestätigt sich nach Preyer nicht, denn die relative Unterschiedsempfindlichkeit ändert sich, da sie bei 100 Schwingungen etwa 200, bei 1000, 2000 beträgt.*

Preyer hat ferner die Feinheit des Gefühls für die Reinheit von Intervallen untersucht. In der folgenden Tab. VIII giebt der Quotient $i = n' : n$ die Abweichung vom reinen Intervall r. Die Empfindlichkeit E ist $\frac{r-i}{r}$ oder $\frac{i-r}{r}$. Um das Empfindlichkeitsmaass für die Schwingungszahlendifferenz zu erhalten, diente folgende Betrachtung. Bei den Intervallen kann man nicht die Differenz $n_1 - n$ benutzen, sondern der Fehler wird gemacht, indem sowohl für n_1 wie für n eine Anzahl von x-Schwingungen mehr oder weniger dem richtigen Intervall angerechnet werden. Es ist also

$$\frac{n_1 - x}{n + x} = r \text{ oder } \frac{n_1 + x}{n - x} = r$$

daraus ergiebt sich $$\frac{n_1 - nr}{r + 1} = \pm x$$

Da x der Fehler an jedem einzelnen Ton ist, so wird

139 Weber in Wagner's Handwörterb. II. S. 560. 1846.

* Für kurz dauernden Schall durch Fall von Körpern findet jedoch Nörr (Zeitschrift f. Biolog. 1879. S. 297) das psychophysische Gesetz bestätigt.

$$2x = 2n \frac{(n_1 - rn)}{r+1} = S$$

die gesuchte Schwingungsdifferenz sein. Die folgenden Zahlen sind den zahlreichen numerischen Daten Preyer's entnommen. Das Urtheil begann bei den angegebenen Verhältnissen unsicher zu werden; um Schwebungen zu vermeiden, mussten die Töne successive angegeben werden.

Tab. VIII.

Intervall.	n.	n_1.	i.	S.	E.	
Quarte (1,333) . . .	187,58	251,23	1,3396	1,02	211	
Quinte (1,5)	167,68	251,23	1,4983	0,23	822	Intervall noch als zu hoch erkannt.
kl. Sexte (1,6) . . .	143,66	231,41	1,6108	1,19	148	
gr. Terz (1,25) . . .	139,60	163,68	1,2437	0,73	198	
	139,62	175,53	1,2572	0,89	173	
kl. Terz (1,20) . . .	207,54	251,23	1,2102	1,9	117	
Octave (2,0)	500,4	1001	2,0004	0,13	5000	
ganzer Ton (1,125).	215,15	243,51	1,1291	0,85	274	

Diese Beispiele dürften dem Urtheile, welches Preyer aus einer grösseren Zahlenreihe erhalten hat, einigermaassen entsprechen, ein genaues Maass lässt sich überhaupt schwer gewinnen. Bei den tiefsten und höchsten Tönen wird die Unsicherheit sehr gross.

Bei den gebräuchlicheren Tönen ist die Genauigkeit des Urtheils sehr erheblich, namentlich aber ist es überraschend, dass die Vergleichung zwischen Grundton und Octave genauer ist, als die, zwischen Grundton und ihm sehr nahe liegenden Schwingungszahlen. Die Mittel zur Vergleichung werden wir uns ähnlich vorstellen müssen wie beim Tastgefühl. Es handelt sich um Localisirung der Eindrücke, für welche erforderlich wird 1) ein peripherer Gefühlsapparat von genügender Feinheit, 2) genügende Entwicklung der Localzeichen, über welche hier freilich nichts Näheres gesagt werden kann, 3) genügende Uebung. Die Prüfung auf den Unterschied eines Tons von einem benachbarten würde der successiven Berührung einer Hautstelle und des, derselben nächst gelegenen Ortes entsprechen, die Prüfung der Intervalle dagegen der Berührung zweier in bestimmter Distanz von einander liegenden Hautstellen. Man hätte erwarten können, dass letztere Prüfung sehr ungünstige Resultate ergeben würde, jedoch kann man solche Fälle, z. B. die Prüfung auf Octaven vielleicht mit der Berührung homologer Theile zweier Finger vergleichen. Hier ist die Angabe ob z. B. dieselbe Stelle des Zeigefingers und Mittelfingers berührt worden ist, recht genau und es ist keineswegs leicht, Stellen, die für identisch erklärt werden, mit dem Augenmaass voraus zu bestimmen!

Nach PREYER scheint eine Uebung in der Kenntniss der Intervalle durch die Empfindung der Theiltöne in den Klängen erworben zu werden; er giebt darüber folgende hübsche Tabelle

Tab. IX.

Es tritt auf zuerst bei Theilton	Es kommt vor bei:	8	12	16	24 Theiltönen
2	Octave	4 mal	6 mal	8 mal	12 mal
3	Quinte	2 "	4 "	5 "	8 "
4	Quarte	2 "	3 "	4 "	6 "
5	gr. Terz	1 "	2 "	3 "	4 "
5	gr. Sexte	1 "	2 "	3 "	4 "
6	kl. Terz	1 "	2 "	2 "	4 "
7	natürl. Sept	1 "	1 "	2 "	3 "
8	kl. Sexte	1 "	1 "	2 "	3 "

Aus dieser Tabelle ersieht man, dass in den Klängen die verschiedenen Intervalle verschieden häufig und zahlreich auftreten. Die Feinheit unseres Unterscheidungsvermögens scheint sich entsprechend der Uebung, welche wir durch das Auftreten der Intervalle erhalten, auszubilden, wenigstens stimmt die Stufenfolge unseres Unterscheidungsvermögens mit obiger Reihe auffallend gut überein.

Aus der Feinheit unseres Unterscheidungsvermögens muss man über die Anzahl der abgestimmten Endapparate ein Urtheil gewinnen können. Nach Messungen von HENSEN würden etwa 16400, nach Messungen von WALDEYER [140] 20000 CORTI'sche Zellen, also gesonderte Hörnervenenden vorhanden sein. Jeder solchen Zelle entspricht etwa eine Saite der Membrana basilaris; aber freilich ist wegen der verschiedenen Lagerung* nicht jede Zelle als der Nachbarzelle gleichwerthig aufzufassen. PREYER findet, dass ein Ton von n und $n \pm 0{,}05$ Schwingungen besten Falls die Grenze unseres Unterscheidungsvermögens bildet. Da wir überhaupt von 20 bis 40000 Schwingungen als Töne zu unterscheiden vermögen, so würde obige Zahl von Nervenenden nicht einmal für die Erkennung des Unterschiedes einer ganzen Schwingung ausreichen. Eine so feine Unterscheidung können wir in der That am Anfang und am Ende der Tonreihe nicht machen, es würden von 4000 Schwingungen an vielleicht 400 Nervenenden den empirisch zu machenden Ansprüchen genügen können, aber wenn je 1/20 Schwingung auch nur zwischen 400—1200 Schwin-

140 WALDEYER in STRICKER's Gewebelehre. II. S. 959.
* Vgl. Fig. 26 B. h.

gungen unterschieden werden soll, würden schon 20. 800=16000 Elemente nöthig werden. Man könnte zwar mit Helmholtz annehmen, dass die Stärke des Mitschwingens benachbarter Elemente sehr genau verglichen werde und man sich auf diese Weise ein Urtheil darüber bilden könne, ob der Ton einer gewissen Schwingungszahl zwei Endelemente gleich stark, oder ein Element am stärksten, zwei Nachbarapparate gleich oder auch verschieden stark errege. Im Allgemeinen haben wir Grund (z. B. nach Erfahrungen über das Tastorgan) eine Vereinigung mehrerer anatomischer Elemente zu einer Empfindungseinheit anzunehmen. Denselben eine so grosse Leistung zuzuschreiben, dass dadurch die morphologische Einheit in der angedeuteten Weise zerlegt werde, ist eine Hypothese die man ungerne zulassen wird, denn wir müssen verlangen, dass die morphologischen Einheiten weitaus den physiologischen Anforderungen gerecht werden können, weil uns eher eine Verschwendung derselben (Peripherie der Netzhaut, Riech- und Geschmackszellen) als zu grosse Sparsamkeit damit in der Natur entgegentritt.

Die von Preyer gestellten Anforderungen in Bezug auf genaue und feine Abstimmung der einzelnen Theile des Ohrs sind so hoch, dass die meisten Toninstrumente ihnen nicht würden genügen können. Daher dürfte vielleicht eine grössere Garantie, wie die in der Abhandlung ([138]) gegebene, für die Constanz der Zungenpfeifen erwünscht sein; namentlich in Bezug auf die Frage, ob zwei behufs der *Abstimmung* zusammen schwingende Zungenpfeifen sich nicht, ähnlich wie andere Toninstrumente, ein wenig beeinflussen, sobald sie sehr nahe gleich gestimmt sind.

III. Das Gefühl für Intensitätsunterschiede und für kleinste Intensitäten.

Hier ist die erste Frage: ob die Intensität der Empfindung proportional oder im quadratischen Verhältniss mit der Amplitude wächst. Die Physiker nehmen als Maass der Intensität die lebendige Kraft der Bewegung also mv^2, Masse mal das Quadrat ihrer Geschwindigkeit. Da die Geschwindigkeit beim Durchgang durch den 0 Punkt von der Amplitude der Schwingung abhängt, so würde die Intensität, wie das Quadrat der Amplitude wachsen müssen. Für das Ohr liegt die Sache schon deshalb complicirter, weil die Abstimmung und die Dämpfung des Zuleitungsapparates, die Richtung des Gehörgangs und eventuell die Nachgiebigkeit der Bogenfasern in der Schnecke modificirend eingreifen können. Helmholtz (6. Abschnitt 9) hat nachgewiesen, dass ein gleicher, die Luft treibender Druck des

Blasebalgs bei langsam rotirender Sirene nur einen schwachen, bei rascherer Rotation bis zu mindestens 880 Schwingungen hinauf, einen unverhältnissmässig grösseren Effect auf unser Ohr hervorbringt.

Schafhäutl[141] kam zu der, aus der Wirkung des Tensor tympani verständlichen Erfahrung, dass nur die kurzen Schallstösse der sog. krustischen Instrumente für Messungen tauglich seien. Er liess kleine Kugeln aus bestimmbarer Fallhöhe auf wagrechte Glastafeln fallen, während später Vierordt[142] dafür Schiefer- oder Metallplatten benutzte. Dabei ist $v^2 = 2gs$ (s die Fallhöhe, $g = 9{,}81$ Meter) also die lebendige Kraft $mv^2 = 2gms$, wenn m die Masse des Körpers. Der sog. elementare Antrieb mv wird $= m\sqrt{2gs}$ sein. Schafhäutl nahm letztere Grösse als Maass der Intensität und Vierordt fand, dass dies Maass in der That das richtigere sei. In einer Reihe von Versuchen machte er den Eindruck, welchen eine fallende Kugel von 36,5 mgr. auf sein Ohr hervorbrachte, durch Aenderung der Fallhöhe dem Eindruck gleich, welchen eine Kugel von 56 mgr. beim Fall aus constanter Höhe machte. Die Berechnung des elementaren Antriebs stimmte in den meisten Fällen sehr viel besser mit den Aussagen des Ohrs überein, als die Berechnung der lebendigen Kraft.

Bezüglich der *unteren Grenze der Empfindung* fand Schafhäutl, dass der Fall eines 1 mm. schweren Korkkügelchens aus 1 mm. Höhe noch wahrgenommen werde. Am genauesten scheinen die bezüglichen Resultate von Töpler und Boltzmann[143] zu sein. Dieselben bestimmten unter Anwendung der stroboskopischen Methode mit Hülfe von Interferenzstreifen die Grösse der Luftverdichtung, welche am Ende einer gedackten Orgelpfeife von 181 Schwingungen bei constantem Druck (40 mm. Wasser) eintritt. Die Bestimmung ergab eine Differenz des Luftdrucks von 0,0124 Atmosphären (c. 130 mm. Wasserdruck) und daraus berechnet sich die Bewegung der Luft nahe bei der Mundöffnung der Pfeife zu 2,482 mm. Die Pfeife wurde am Tage unter Eliminirung der Störung durch den Wind, ausserhalb der Stadt bis zu 115 Meter Entfernung gehört. Daraus berechnet sich, unter Zuhülfenahme der, von Helmholtz[144] für das Geschwindigkeitspotential im freien Raum gegebenen Formeln, dass die Luftexcursion am Ohr 0,00004 mm. betrug, bei einer Schwankung des Drucks um eine Wassersäule von 0,018 mm. Pro Quadratmillimeter wirkte dabei in der Secunde eine mechanische Arbeit von

141 Schafhäutl, Ueb. Phonometrie. Abhandl. d. Gesellsch. d. Wissensch. München 1853.
142 Vierordt, Messung d. Schallstärke. Ztschr. f. Biologie. S. 300. 1878.
143 Töpler u. Boltzmann, Ann. d. Physik CXVI. S. 321. 1870.
144 Helmholtz, Crelle's Journ. f. Mathematik. LVII.

$^1/_{100}$ Billionen Kilogrammeter. Das Trommelfell, mit einer Oberfläche von 33 □ mm., würde also durch eine Schwingung mit $^1/^{543}$ Billionen Kilogrammeter bewegt werden. Eine Kerze würde dem Auge auf dieselbe Distanz bei 33 □ mm. Pupillenfläche etwa 17 mal mehr mechanische Arbeit übermitteln. Wir würden aber ein Licht viel weiter sehen können, wahrscheinlich aber auch die Pfeife bei Nacht viel weiter zu hören vermögen. Die kleinsten hörbaren Bewegungen des *Trommelfells* werden sehr viel kleiner sein müssen als obige Grösse von 0,00004 mm., weil die Masse der Luft so viel kleiner ist, wie diejenige des Trommelfells; eine directe Beobachtung so kleiner Verschiebungen geht über die Leistung des Mikroskops hinaus, Rayleigh [145] berechnet sogar die Amplitude der Lufttheilchen zu 0,000001 mm.

Es sind bei diesen Bestimmungen der Einheit des Hörvermögens noch viele Schwierigkeiten zu überwinden. So wenig wir für gewöhnlich die Störungen durch umgebende Geräusche bemerken, so empfinden wir sie doch lästig, sobald ein bestimmtes leises Geräusch gehört werden soll. In dieser Richtung sind einige Versuche von A. M. Meyer [146] angestellt, nach welchen ein höherer Ton durch einen tieferen (der etwa dreimal so stark war) ausgelöscht wird, nicht aber umgekehrt. Uebrigens schwankt die Empfindlichkeit des Ohres sehr merklich, so dass z. B. eine abklingende Stimmgabel nicht continuirlich, sondern mit Schwankungen leiser wird. Urbantschitsch [147] hat darüber einige Beobachtungen angestellt, nach denen sowohl für Töne wie Geräusche eine unregelmässig wechselnde Empfindlichkeit constatirt wurde. Er glaubt dafür den Grund im Nervenapparat suchen zu müssen, wie ja auch über die Retina solche Verdunkelungswellen mit dem Eigenlicht derselben interferirend hinlaufen.

Einige Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Hörschärfe für Töne und für Geräusche nicht immer in demselben Verhältnisse stehe. So berichtet z. B. Schwartze [148] von hochgradiger Verkalkung und Vernarbung beider Trommelfelle bei normaler Hörschärfe für die Ton- und Flüstersprache mit weitgehendem Unvermögen das Ticken einer Uhr zu hören. Aehnlicher Fälle wären manche zu verzeichnen, es wird aber die physiologische Beobachtung und Beobachtungsmethode noch selbständig weiter fortschreiten müssen, ehe sie aus solchen Fällen Nutzen zu ziehen vermag.

---

145 Rayleigh, Ann. d. Physik. Beiblätter. I. S. 500. 1877.
146 Alfred, M. Meyer's Nature. Vol. XIV. No. 354.
147 Urbantschitsch, Centralbl. f. med. Wiss. No. 37. S. 625. 1875.
148 Schwartze, Tröltsch's Arch. I. S. 142.

IV. Bestimmung der individuellen Gehörschärfe.

Aehnlich wie manche andere Sinnesorgane ist auch das Ohr verschiedener Individuen sehr verschieden feinfühlig. Dieser Unterschied tritt auf freiem Felde, bei der Jagd u. s. w. oft auffallend hervor, während er in dem Leben der Städte unmerklich wird und sogar durch die Fähigkeit, von störenden Geräuschen zu abstrahiren, übercompensirt werden kann. Die Apparate zur Bestimmung der Hörschärfe leiden unter der Schwierigkeit, einen Schallapparat von bekannter, nicht zu grosser, lebendiger Kraft, oder doch wenigstens von völliger Constanz und einer, mit anderen gleichen Apparaten vergleichbaren Leistung, herzustellen. Ausserdem ist die Richtung des Ohrs gegen die Tonquelle von Wichtigkeit. Immerhin wird dem praktischen Bedürfniss durch die gebräuchlichen Apparate einigermaassen genügt. Es wird die Schallquelle in solche Entfernung gebracht, dass sie anfängt, hörbar zu sein. Wenn der Schall von einem Punkte aus sich gleichmässig im Raum vertheilt, so verhält sich seine lebendige Kraft umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung der Schallquelle von dem Ort des Horchens. Hört also ein normales Ohr N die Schallquelle in 3 m. Entfernung, ein anderes in nur 80 cm., so ist

$$\frac{1}{300^2} : \frac{1}{80^2} = N : x. \quad 64\,N = 900\,x.$$

Die Hörschärfe des kranken Ohres x würde also 0,071 N sein.

Es dürfen bei diesen Versuchen weder die Wände durch Reflexion des Schalles einwirken, noch, wie bei den Stimmgabeln, Interferenzen von den Flächen des Schallinstrumentes aus gebildet werden. Ausserdem kann die Rechnung nur für grössere Entfernungen gelten, da nur für diese die Schallquelle als Punkt betrachtet werden kann. Endlich macht die Intensitätscurve bei Anlegung des Apparates an das Ohr eine so starke Inflexion, dass jede Vergleichbarkeit aufhört. Durch diese Verhältnisse wird Knapp's [149] Vorschlag, die Hörschärfe in Bruchtheilen der Normalhörweite auszudrücken, in der Ausführung minder empfehlenswerth.

Als constante Schallquellen dienen Pendelschläge von Uhren; ausserdem hat Politzer [150] einen Schallhammer mit stellbarer Hubhöhe empfohlen, auch würden gewiss sonstige Fallapparate mit Vortheil zu verwenden sein. Von Lucae [151] ist ein Phonometer construirt, welches die Stärke des Exspirationshauches misst, und daher gestattet, mit Hülfe der Sprache, deren Intensitätsschwankungen

149 Knapp, Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkunde. III. 1. S. 186.
150 Politzer, Arch. f. Ohrenkeilkunde. XII. S. 104.
151 Lucae, Ibid. S. 282.

ein Maass in der Aussage des Phonometers finden, Prüfungen der Hörschärfe vorzunehmen.

Von Conta[152] und nach ihm von Magnus[153] ist versucht worden, aus der Zeit, welche angeschlagene Stimmgabeln brauchen, um bis zum Unhörbaren abzuklingen, die Hörschärfe zu bestimmen. In der That, wenn man den Stiel so formt, dass er leicht in den Gehörgang eingesetzt werden kann und dann an einem aufgesetzten Zeiger die Breite der Schwingung markirt, also den Anfang der Zeitmessung bestimmt, würde das Verfahren einfach und exact sein. Leider ergeben mir genaue Messungen an 3 Stimmgabeln von 256 v. d., dass das logarithmische Decrement hier keine Constante ist, sondern bis zu einer Elongation von 0,07 mm. an und bei einer schweren Stimmgabel von 0,8 mm. an abnimmt (Log. des Decrements: 0,000028 resp. 0,000285), um dann wieder recht merklich, und zwar mindestens auf Log. des Decrements: 0,000047 resp. 0,00069, zu wachsen.

Vielleicht versprechen Versuche, welche Hartmann[154] mit Hülfe des, durch Inductionsströme bewegten Telephons anstellt, bessere Resultate. Preyer[155] verwendet für Prüfung des Gehörs ein Telephon und einen Rheostaten, durch welche ein constanter Strom geleitet ist. Der Contact wird durch eine Quecksilberverbindung hergestellt, man hört bei Schluss (und Oeffnung) ein leises Ticken, welches sich bei sehr schwachem Element so weit verringern lässt, dass nichts mehr gehört wird. Hughes* lässt einen unterbrochenen Strom in entgegengesetzter Richtung durch zwei primäre Rollen gehen, legt zwischen beide die mit dem Telephon verbundene secundäre Rolle und stuft, durch Verschiebung derselben, den Ton bis zur geringsten Stärke ab. Dies Verfahren dürfte sich am besten bewähren.

Verstärkungsapparate

für den Schall sind nach zwei Richtungen hin construirt worden. Es kann die Schallquelle virtuell dem Ohr näher gebracht werden, wenn von diesem ein Rohr bis zu ihr hingeführt resp. diese selbst in das Rohr eingeschlossen wird. Dabei tritt ein sehr viel grösserer Theil der Schallbewegung an das Ohr, namentlich wenn das Rohr den Gehörgang hermetisch abschliesst. Da aber denn doch die Wandungen z. B. der Gummischläuche den Schall recht stark nach aussen leiten, findet diese Art der Verstärkung bald eine Grenze. Könnten die

152 Conta, Arch. f. Ohrenheilkunde. I. S. 107.
153 Magnus, Ibid. V. S. 127.
154 Hartmann, Verhandl. d. physiol. Gesellschaft zu Berlin 11. Jan. 1878. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1878.
155 Preyer, Sitzgsber. d. Jena'schen Ges. f. Med. 21. Febr. 1879.
* Hughes, Nature 1879. S. 77 u. 102.

Schallquellen durch feste Körper direct mit dem Trommelfell verbunden werden, so würde dadurch nach SCHMIDEKAM(8), welcher solche Verbindung durch metallische Sonden herstellte, noch mehr gewonnen sein, aber das Verfahren ist zu schwierig und gefährlich, um praktisch in Betracht zu kommen.

Mittelst Schallbechern, also einer künstlichen Vermehrung der Fläche unserer Ohröffnung, wird etwas mehr Schall aufgefangen; jedoch wenn diese Becher nicht sehr gross sind, werden die längeren Tonwellen kaum in gewünschter Weise dem Ohr zugeleitet (vergl. MACH 19). Ausserdem geben diese Apparate durch Bildung stehender Wellen, nach Art der Resonatoren, eine Verstärkung bestimmter Töne. Diese Verstärkung ist aber für das Sprachverständniss unerwünscht und durchaus kein Vortheil. Solche Apparate stellen dagegen die Ohrmuschel zuweilen günstiger für Auffangung in der Nähe erzeugten Schalls, als sie von Natur steht, und dies scheint einigen Nutzen zu gewähren.

Ein sehr gebräuchliches Verstärkungsmittel sind die Resonanzböden, leicht bewegliche Flächen, auf welche sich die Schwingungen fester Körper übertragen und welche durch die grosse Anzahl der in ihnen vibrirenden Oberflächenpunkte die Uebertragung des Schalls an Luft und Ohr sehr vermehren. Durch das sog. Fadentelephon werden zwei solche, weit von einander entfernte Resonanzflächen, welche durch einen dazwischen aufgespannten Faden verbunden sind, nutzbar gemacht, indem man die eine dieser Flächen dem Ohre sehr nahe bringt und daher deutlich hört, was an der anderen Fläche geschieht.

Die neuerdings erfundenen Mikrophone bewirken eine reelle Vermehrung der Schallintensität. Bei denselben verstärken und unterbrechen die Schallstösse mit dem ihnen eigenthümlichen Rhythmus galvanische Ströme, welche auf ein Telephon oder ähnliche Apparate wirken. Es hängt daher die Schallintensität hauptsächlich von der Stärke des Stroms ab. Der Apparat findet Verwendung für Vergrösserung sehr schwacher Schallbewegungen; für Schwerhörigkeit ist davon wenig zu erwarten, weil organische Fehler des Ohrs nicht durch Steigerung der Schallintensität einfach compensirt werden können und eine Steigerung des Schalls über die Stärke der, ins Ohr gerufenen menschlichen Stimme hinaus, zerstörend wirken müsste.

V. Entotische Gehörerregungen.

Absolut ohne Empfindungen ist unser Ohr wohl nie, denn sobald wir auf dasselbe achten, bemerken wir eine Schallerregung irgendwelcher Art. Das Gefühl der Stille beruht nicht auf dem völligen

Ruhezustand unseres Ohrs, sondern es ist eine Abmessung darüber, wie leise die Geräusche sind, welche unser Ohr hört, bestenfalls die Beachtung des Grades der Störung unseres Hörens durch seine entotischen Geräusche. Bei weniger scharfer Aufmerksamkeit bemisst man die Stille nach der Leichtigkeit, mit welcher von den Gehörwahrnehmungen ganz abstrahirt werden kann. In diesem Falle, der um so leichter eintritt, je weniger Lärm vorhanden ist, werden wohl die centralen Enden des Nervus acusticus ausser Einfluss gesetzt, was gleichbedeutend ist mit der Abwesenheit oder Lähmung des Organs.

Entotische Geräusche einiger Intensität treten so leicht in völlig normalen Ohren ein oder sie sind so leicht zu erzeugen, dass wir sie als halbphysiologisch gelten lassen müssen. Es wird die Aufgabe sein, ihren Ort und ihre Ursache festzustellen. Ein sehr grosser Theil hat seinen Sitz in der Paukenhöhle. Eines knackenden Geräusches, welches in ein Stadium der Eröffnung der Tuba fällt und beim Gähnen gehört zu werden pflegt, ist bereits früher Erwähnung geschehen. Schmidekam (8) hat dasselbe sehr eingehend behandelt und die Nachweise der zahlreichen Literatur gegeben. Hierher gehört ferner das Muskelgeräusch. Man versteht darunter den dumpfen, von raschen Stössen begleiteten Ton, den jeder Leser hören wird, sobald er den Finger in den Gehörgang ein wenig einpresst. Da sich ergeben hat, dass dieses Geräusch von den Muskeln zum Ohr geleitet wird, findet es sich Bd. I. S. 48 abgehandelt. Helmholtz[156] hat jedoch die Ansicht ausgesprochen, dass der Ton von Eigenschwingungen des Trommelfellapparates herrühre und C—1, wie ihn eine 16füssige offene Orgelpfeife giebt, sei; der Ton werde auch beim Anblasen des Ohrs erhalten. Schmidekam findet freilich, dass auch bei dem durch Wasser belasteten Trommelfell der Ton von den verschiedensten contrahirten Muskeln des Kopfes aus laut erzeugt werde, aber der Einwand, dass das Trommelfell unter diesen Umständen verstimmt sein müsse, der Eigenton also ein anderer sein werde, ist deshalb nicht stichhaltig, weil unsere Hörschärfe für die Unterscheidung der tiefen Töne nicht ausreicht. Wir wissen, dass auch bei tetanischer Contraction des Tensor tympani der Muskelton auftritt. Wenn ich die entotischen Geräusche meines Ohrs richtig deute, so würde ein, jeweilen ganz ohne äussere Veranlassung, zuweilen auch beim Lauschen auf Gesang auftretender Muskelton mit langsamen Einzelstössen (etwa 10—12 in der Secunde) vom Tetanus des Tensor abhängen.

In der Stille und beim Verschluss des Ohrs können noch andere

---

156 Helmholtz, Verhandl. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg IV. S. 153 u. 161.

im Körper entstehende Geräusche entotisch vernommen werden, so namentlich Pulsationen des Herzens und der Arterien, Inspirations- und Venengeräusche. Es ist auffallend, dass diese Geräusche unter gewöhnlichen Bedingungen **nicht** gehört werden, da doch die Carotis im Felsenbein liegt und sogar ein Arterienast an den Steigbügel geht! Bei der grossen Empfindlichkeit des Ohrs mögen sehr geringe Exsudatmassen schon genügen, um Leitungswege herzustellen, welche dem Paukenapparat in störender Weise Bewegungen mittheilen. Ferner ist es mit Recht geltend gemacht, dass Störungen in der Ableitung von Bewegungen nach der äusseren Luft zu, also z. B. abnorme Spannungen des Trommelfells oder der Bänder, die Ursache sein könnten, dass Brausen und tiefere Geräusche, welche ein Ausdruck von im Kopf vorhandenen Bewegungen sind, dem Ohre wahrnehmbar werden.

Eine andere Art entotischer Geräusche ist ein **hohes Klingen**, welches ohne äusseren Anlass und fast ohne begleitende Gefühle auftritt, eine kurze Zeit gleichmässig anhält und dann langsam verklingt. Man ist geneigt diesen Klang auf eine primäre Reizung des Labyrinths zu beziehen und dies findet in dem ganz gleichen Ohrenklingen bei Chininvergiftung eine Stütze. Jedoch selbst in letzterem Falle vermag man durch Zusammenschlagen der Zähne das Klingen auf kurze Zeit zu unterbrechen und es steht überhaupt so stark unter äusseren Einflüssen, dass man das Urtheil über den Sitz des Leidens bis auf genauere Nachweise suspendiren kann. Die Ohrenärzte finden einen gewissen Zusammenhang zwischen dem Auftreten des Ohrenklingens und Gefässinjectionen, letztere werden sowohl bei Chininwirkung[157], wie bei Tinnitus aurium[158] beobachtet. Es ist gewiss möglich, dass in den kleinen Gefässen durch Reibung des Blutes leise Töne entstehen, die bei directester Zuleitung zum Ohr, bei günstigster Spannung z. B. der Steigbügelmembran, hörbar werden können. Da aber der Tinnitus eine sich ziemlich gleichbleibende Tonhöhe hat, so wird auch hier die Zuleitung durch den Stapes, die Fenestra rotunda oder wenigstens das Labyrinthwasser postulirt werden müssen, so lange nicht Grund zu der Annahme ist, dass nur ein an bestimmter Stelle der Membr. basilaris anliegendes Gefäss die Erschütterung bewirke, was ja höchst unwahrscheinlich ist. Wenn das **Labyrinth** durch ein einfaches hohes Klingen auf Reizung reagirte, würde sich dies schlecht mit unseren sonstigen Ansichten verein-

---

157 Weber-Liel, Deutsche Ztschr. f. prakt. Med. 1875. No. 19 (nach Tenotomie des Tensor tympani bleibt d. Ohrenklingen bestehen). Roosa, Monatsschr. f. Ohrenheilkunde. No. 3. 1876.
158 Theobald, Ibid. No. 2. 1876.

baren lassen, denn es wäre nicht einzusehen, weshalb immer so wenige, und zugleich nahe dieselben CORTI'schen Zellen dabei erregt werden sollten. Ueberhaupt stände das Auftreten eines dauernden Klanges gleichbleibender Höhe nicht in Uebereinstimmung mit den Erfahrungen über die Reizerscheinungen in anderen Sinnesorganen. Für die Haut finden wir, dass subjectives Jucken und Schmerzen so mannichfaltig wie möglich sind, subjective Geschmacks- und Geruchsempfindungen kennen wir bei Gesunden überhaupt nicht in constanter Wiederholung, und die Reizung der Retina, wenn sie zu subjectiven Lichterscheinungen führt, ist durch den steten Wechsel der Farben- und Lichterscheinungen quälend. Von alle diesem haftet dem gewöhnlichen Ohrenklingen nichts an! Man hat sehr allgemein die Annahme einer Vermehrung des Drucks im Labyrinth zur Erklärung der subjectiven Geräusche, nervöser Taubheit u. s. w. herbeigezogen, aber so sicher wir den analogen Vorgang beim Auge kennen, so wenig lässt sich zu Gunsten eines solchen beim Labyrinth sagen, denn das Labyrinth ist nicht in dem Sinne abgeschlossen wie das Auge; die Membr. tympani secundaria kann dem Druck sehr ausgiebig weichen, der Aquaeductus vestibuli und cochleae bilden freie Communicationsöffnungen nach aussen und die Nervendurchgänge bieten dem Druck keine so blosgelegte Fläche, als die der Papilla Nervi optici es ist. Der Beweis für das Vorkommen eines erhöhten Drucks im Labyrinth ist nicht geführt worden und es lässt sich nicht einmal angeben, wie dieser Beweis zu führen wäre, wenn einmal alle Oeffnungen des Labyrinths sich durch Exsudate vermauert finden sollten!

Es soll mit Obigem natürlich nicht geleugnet werden, dass Reizungen im Labyrinth oder dem Nervenapparat halbphysiologisch vorkommen können, dieselben scheinen mir aber bis jetzt nicht genügend nachgewiesen zu sein.

Einige merkwürdige Beobachtungen über Ausfall und Verstimmung von Tönen sind hier noch zu erwähnen. MAGNUS[159] hat die Analyse eines Falls gegeben, in welchem die Töne d''—h' für gewöhnlich nicht gehört wurden, aber allerdings mit Hülfe von Resonatoren noch hörbar gemacht werden konnten. In diesem Falle stellte sich das Gehör wieder her. Ebenso bei einem Kapellmeister, welchem in Folge eines Schlages die Empfindung für die Bassnoten verloren ging. Ein Componist verlor durch den Pfiff einer Locomotive das Gehör für den Diskant dauernd.

Physiologisch interessanter sind die Fälle von Verstimmung des

---

159 MAGNUS, TRÖLTSCH's Arch. II. S. 268. 1867.

Gehörorgans. Wittich[160] hat an sich selbst in Folge einer Entzündung des Mittelohrs die Töne der eingestrichenen Octave mit dem kranken Ohr um $1/2$ Ton höher als mit dem gesunden wahrgenommen.[161] Also für *a* hörte er *b* oder es war nach unserer Hypothese, die auf *b* abgestimmte Saite so viel schlaffer geworden oder so durch Exsudat belastet, dass sie nur noch auf *a* stimmte, nach der Hypothese müsste aber jetzt *a* an zwei Orten der Schnecke, als *a* und *b*, *b* gar nicht deutlich gehört werden. Zugleich wurde eine gewisse Tontaubheit bemerkt, denn das Geräusch einer anschlagenden Glocke konnte auf weitere Strecken gehört werden, wie deren Ton.

Es ist eine kleine Differenz der Tonhöhe beim Hören mit dem rechten und dem linken Ohr von mehreren Beobachtern[162] bemerkt worden, doch stimmen diese Beobachtungen in Bezug auf Constanz des Unterschiedes nicht gut überein.

VI. Nachempfindung und Mitempfindung.

Nachempfindungen, wie sie das Auge in Form von Nachbildern so leicht giebt, sind vom Ohre nicht häufig beobachtet. Nur der Fall, dass gewisse Melodien nicht „los zu werden" sind, tritt häufig auf. In diesem Falle ist es jedoch mehr der Rhythmus und Tonfall der sich wiederholt, der eigentliche lebendige Klang tritt weniger hervor; es handelt sich dabei wohl mehr um entferntere Gangliengruppen, nicht um Nachempfindung des eigentlichen Gehörapparates. Preyer ([138]) berichtet nach langdauernder Einwirkung eines Tons als Nachempfindung ein lautes Plätschern wiederholt und Minuten lang gehört zu haben, wie auch die Empfindung der Schwebungen sich ihm leicht reproducirt. P. Jacobs[163] hat in ähnlicher Richtung Versuche angestellt.

Auch eigenthümliche Mitempfindungen kommen vor, wir erwähnten deren schon bei Besprechung der höchsten Töne. Ausserdem wird beobachtet, dass sich den Tönen und Accorden bei einzelnen Menschen lebhafte Farbenempfindungen in der Art zugesellen, dass bestimmte Farben und bestimmte Töne zusammengehören.[164]

---

160 Wittich, Königsberger med. Jahrbücher. III. S. 40.

161 Eine ähnliche Beobachtung machte E. H. Weber an sich, worüber Mach, Sitzgsber. d. Wien. Acad. 1864. Ueb. einige d. physiol. Akustik angehörige Erschein.

162 Fessel, Ann. d. Physik. XXI. S. 189 u. 510. 1860. Fechner, Ibid. S. 500. Knobb, Ibid. XXIII. S. 310. 1861.

163 P. Jacobs, De auditus fallacis. Dissert. Bonn 1832. (Mir nicht zugänglich.)

164 Nussbaumer, Wiener med. Wochenschr. 1873. No. 1—3.

VII. Gehörhallucinationen

sind im Traum häufig, auch werden plötzliche Empfindungen des Ohrs bei Tage oft dahin gedeutet, als werde gerufen, als sei an die Thür geklopft. Bei Irren sind Gehörhallucinationen vielleicht in Verbindung mit entotischen Geräuschen häufige und schwere Leiden.

VIII. Galvanische Reizung.

Das Ohr liegt der Anbringung von galvanischen Reizungen nicht günstig, wenig Stromesschleifen werden dem Endapparat oder dem N. acusticus zugeführt werden können und man kann nicht wissen, *was* bei den Versuchen gereizt wird. Constante Ströme geben bei genügender Stärke, namentlich wenn man die Kathode in den Gehörgang bringt, die Empfindung eines Klanges, sowohl bei Schluss wie bei Dauer des Stroms, doch werden dabei auch zischende und anderweite Geräusche empfunden, auch bleiben störende Nebenempfindungen nicht aus. Versuche bestimmte Regeln zu finden, nach welchen die Reaction beim gesunden, eventuell beim kranken Ohr, verlaufe, sind mehrfach gemacht worden, scheinen aber zu nicht befriedigenden Resultaten geführt zu haben.[165]

VIERTES CAPITEL.

Die Gehörwahrnehmungen.

Es ist schon früher dargelegt worden, dass die Wahrnehmung des Klanges aus der Empfindung der Theiltöne hervorgehe. Letztere werden in den gewöhnlichen Fällen so vollständig unterdrückt, dass wir die Theiltöne garnicht bemerken, ja sogar die absolute Tonhöhe z. B. beim Sprechen, wenig beachten, sondern nur das *Zusammenwirken aller* als einen Klang bestimmter Farbe (und weiterhin den Wandel des Tonfalls) wahrnehmen. Aehnlich also, wie wir uns der bunten Flächen eines Feldes, einer Stadt, eines Gemäldes, nicht als

165 Vgl. Brenner, Arch. f. pathol. Anat. XXVIII. 1. u. 2 und besond. Schwartze, Tröltsch's Archiv I. 144.

farbiger Flächen bewusst werden, sondern sie sogleich als Gegenstände bestimmter Art auffassen, so nehmen wir auch die Theiltongruppen als Klänge wahr. Wir dürfen wohl annehmen, dass eine der zum Ohr gehörenden Sinnesflächen im Centralorgan die Theiltöne zu Gruppen vereint, zuweilen (Composition der Vokale durch Stimmgabeln) wider besseres Wissen, aber entsprechend den empirisch entweder früher oder mit Hülfe anderer Sinnesorgane gleichzeitig, als einheitlich erkannten, Klangquellen. Man darf vermuthen, dass ein von Geburt tauber Mensch, geheilt, in ähnlicher Weise das Hören lernen müsste, wie wir wissen, dass geheilte Blinde das Sehen lernen.

I. Consonanz und Dissonanz.

Unsere musikalischen Wahrnehmungen unterliegen noch in weiterer Beziehung gewissen Regeln. Es ist eine uralte Erfahrung, dass Toncombinationen, welche in einfachen Verhältnissen der Schwingungszahlen stehen, angenehm — consonant — andere, welche in complicirteren Verhältnissen stehen, wenig angenehm — dissonant — sind. Dies ist zwar dem Einen auffallender wie dem Anderen, aber es findet Niemand eine Consonanz dissonant. Die physikalisch-physiologische Erklärung dieser Thatsache ist von HELMHOLTZ (6) in der Art gegeben worden, dass er nachgewiesen hat, wie der Grad der Vollkommenheit eines consonanten Intervalls von dem Grade der Abwesenheit von Schwebungen bestimmt ist und wie die Rauhigkeit, welche durch Schwebungen sich dem Klange beimischt das Gefühl der Lust und Unlust hervorruft. Wenn wir die Schwebungen zu den Geräuschen rechnen, können wir, da Zischen, Knallen u. s. w. ja auch die Musik nur stören, sagen, jeder Ton jede Tonfolge und jeder Accord ist um so consonanter und „reiner", je freier er von Geräuschen ist. Das Gefühl der Unlust bei Dissonanzen, welches am stärksten bei 30 bis 40 Schwebungen die Secunde hervortritt, entspricht der starken und empfindlichen Erregung, welche die Nerven und Nervencentra bei intermittirenden Reizungen erleiden. So sind die Hautnerven empfindlich gegen Kitzel, das Auge leidet unter dem raschen Wechsel der LISSAJOUS'schen Tonfiguren zweier rasch schwebenden Stimmgabeln, und zwar kaum weniger wie das Ohr. Da wir die Vermuthung aufgestellt haben, dass die Otolithen der Apparat für die Empfindung und Wahrnehmung der Schwebungen und Stösse seien, so könnte man einwenden, dass deren Nerven durch den ihnen adäquaten Reiz doch wohl nicht so leicht ermüdet und überreizt werden würden. An sich ist jedoch eine unangenehme

Sensation auch bei ganz adäquatem Reiz nicht ausgeschlossen, denn die unangenehmen *Gerüche* sind doch gewiss als adäquate Reize zu betrachten, da die Fähigkeit, sie wahrzunehmen, gewiss eine erhaltungsmässige Function ist. Aber es kommt hier überhaupt ein Anderes in Betracht. Es müssen, wie früher erwähnt, Endapparate der Schnecke die Schwebungen mitmachen und es ist wahrscheinlich, dass ihre stossende, eine ruhige Abschätzung der Intensitäten nicht zulassende Bewegung es ist, welche das Gefühl des Missbehagens erweckt, nicht aber die nebenhergehende Schwingung des Otolithen.

HELMHOLTZ hat nachgewiesen, dass in allen Fällen der Dissonanz Schwebungen vorhanden sind und dass die Schärfe der Dissonanz ihren Höhepunkt bei dem Vorhandensein von 30 bis 40 Schwebungen erreicht. Dabei sind allerdings die Stosstöne z. Th. nicht mit berücksichtigt, aber dieselben würden wohl eher die Beweisführung von HELMHOLTZ erleichtern, wie erschweren, weil sie die Theiltöne entbehrlicher erscheinen lassen, als man bisher annahm.

Schon der einzelne Klang kann dissonant sein. So würde, abgesehen von etwa vorkommenden, unharmonischen Obertönen, C_I von 33 *v. d* mit 33 Schwebungen scharf dissonant klingen, wenn der 15. und 16. Theilton, die das Verhältniss einer kleinen Secunde 15 : 16 geben, stark darin entwickelt wären. Bei unseren Toninstrumenten ist aber in der Regel der Theilton vom 6. an, möglichst schwach ausgebildet.

Die consonirenden Intervalle innerhalb der Octave sind 1 : 2 Octave, 2 : 3 Quinte, 3 : 4 Quarte, 3 : 5 gr. Sexte, 4 : 5 gr. Terz, 5 : 6 kl. Terz. Bei der Octave ist der 2., 4., 6. Theilton des niederen, identisch mit dem 1., 2., 3. des höheren Tons, der 3. und 5. des ersteren fallen im Verhältniss der Quinte und Terz zwischen die Theiltöne des höheren und geben deshalb keine oder nur schwache und rasche Schwebungen. Für die Quinte ist der erste gemeinsame Theilton der Ton 2 . 3 = 6, also der dritte des tieferen der 2. des höheren. Der 4. und 5. Theilton des tieferen, der 3. des höheren, stehen in dem Verhältniss von $\frac{9}{8}$ und $\frac{10}{9}$, also dem zweier benachbarter Töne zu einander. Dies Intervall ist schon so gross, dass nur in sehr tiefen Lagen der Grundtöne, bei stark entwickelten Obertönen eine Rauhigkeit bemerkt werden könnte. Bei der Quarte haben wir die erste Coincidenz bei 3 . 4 = 12. Die Theiltöne sind für Ton 3 und Ton 4

3.	6.	9.	12.	15.	18.
4.	8.		12.	16.	

also liegt das Verhältniss $\frac{9}{8}$ schon in tieferer Lage und $\frac{16}{15}$ giebt

ziemlich starke Schwebungen, die nur deshalb, weil der 5. und 4. Theilton schwach sind, wenig hervortreten. Die grosse Terz 4:5 hat 20 als erste Coincidenz

4. 8. 12. 16. 20.
5. 10. 15. 20.

und $\frac{16}{15}$ schon beim 4. und 3. Theilton, ist also relativ viel rauher. Die kleine Terz

5. 10. 15. 20. 25.
6. 12. 18. 24.

hat $\frac{10}{9}$ schon im dritten Theilton, und die scharfe Dissonanz $\frac{25}{24}$ im 5. und 4. Theilton ist daher für tiefe Lagen wenig angenehm.



Fig. 31. A.

Sobald in diesen consonanten Verhältnissen kleine Verstimmungen auftreten, werden sogleich Schwebungen bemerklich, und zwar werden diese um so stärker, je vollkommener die Obertöne bei reiner

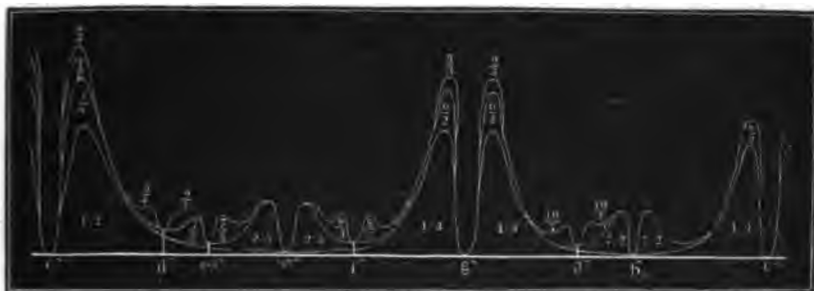


Fig. 31. B.

Stimmung coincidiren. Daher sind die reinsten Intervalle zugleich die empfindlichsten, was auch die vorstehenden Curven erkennen lassen.

Diese Curven geben die Rauhigkeit aus der Höhe der Ordinaten.

Sie sind von Helmholtz unter der Annahme berechnet, dass der Klang von der Violine herrühre, auf je zwei Fasern der Schnecke wirke und dass die Rauhigkeiten existiren zwischen den Grenzen der Schwebungen $0-\infty$, aber bei 30 Schwebungen ihr Maximum erreichen. Die Linien sind jedoch so dick, dass Schwebungsrauhigkeiten von über 120 kaum hervortreten. Die den einzelnen *Theiltönen* entsprechenden Rauhigkeiten sind für sich angegeben worden, wodurch ihr Einfluss deutlich hervortritt. Die Intervalle sind unter der Annahme genommen, dass c′ mit 264 v. d. stets der Grundton sei. Wir finden die consonanten Orte in der durch die Horizontale dargestellten, zwei Octaven durchlaufenden Tonreihe für: kl. Terz, gr. Terz, Quarte, Quinte(!), kl. Sexte, grosse Sexte, verminderte Septime, Octave(!), None (schlecht), grosse None (es″ besser wie kleine Terz), Decime (e″ besser wie gr. Terz), Undecime (f″ schlechter wie die Quarte), Duodecime (sehr gut, aber bei Verstimmung stark dissonant), c′ b″ zeigt sich als sehr reines Intervall. Man sieht, dass in den Tastaturinstrumenten ausser dem Ton b′ und b″, die für die beste Lage etwas zu hoch liegen, kein brauchbares Intervall mangelt, wenn man vom Grundton c ausgeht und die Stimmung rein ist.

Wäre als Grundton c‴ 1056 v. d. genommen, so wäre das Bild ein anderes geworden, namentlich würde die Rauhigkeit 1 : 1, also zwischen den Grundtönen nicht bis g, sondern nur bis d zu verfolgen gewesen sein, weil weiterhin über 120 Schwebungen eintreten würden.

Preyer[166] hat die Theorie von Helmholtz mit Hülfe von 11 Stimmgabeln der Töne 1000, 1100 . . . 2000 geprüft. Die Obertöne dieser Gabeln waren zu hoch, um gut hörbar zu sein, da nur schwach angestrichen wurde. Jedes benachbarte Stimmgabelpaar gab 100 Schwebungen, musste also nach Helmholtz's Theorie dissonant sein und wurde von den Musikern auch dafür erklärt. Alle anderen Combinationen 10 : (13, 17, 19), 11 : (13, 14, 15 . . . . 20) erklärten Musiker für nicht dissonant, und obgleich zuweilen die reinen Intervalle bevorzugt wurden, war doch von einem sicheren Urtheil über Consonanz und Dissonanz, insofern das Verhältniss kleinster ganzer Zahlen dafür die maassgebende Grundlage sein sollte, nicht mehr die Rede. Es ist dies also ein schöner Beweis für die Richtigkeit der von Helmholtz dargelegten Ansichten.*

166 Preyer, Die Theorie d. musikal. Consonanz. Sitzgsber. d. Jenaischen Ges. 28. Jan. 1878.

* Preyer (5. S. 41) hat diesem allerdings jetzt eine Beschränkung hinzugefügt. Paarweise vereinte Töne geben nämlich unter Umständen scharf dissonante Klänge, ohne dass Rauhigkeiten dabei in Betracht gezogen werden können. Es dissoniren z. B. zwei Töne α von 1400 und β von 1600 Schwingungen, obgleich alle bei dem Zu-

Schwebungen entstehen übrigens noch leichter als es nach dem bisher Gesagten den Anschein hat, denn selbst wenn die Obertöne noch nicht schlagen, können schon die Differenztöne Schwebungen hervorrufen, und jeden schwebenden Ton hört das Ohr leichter als nicht schwebende Töne. Dies findet z. B. bei folgender etwas verstimmten Quinte statt

200 und 301 v. d. haben Obertöne von 400 und 602 v. d.
301—200 = 101 v. d. der Differenzton 1. Ordnung.
400—301 = 99 v. d. der Differenzton 2. Ordnung.
2 Schwebungen.

Sobald mehr wie zwei Töne zusammen erklingen, also bei den Accorden werden die Combinationstöne von grösserer Wichtigkeit für die Consonanz. In den folgenden Beispielen ist der Accord in halben Noten, der Combinationston der Grundtöne in Vierteln, die Combinationstöne mit den ersten Obertönen in Achteln und Sechzehnteln bezeichnet. Der Strich neben der Note bedeutet, dass dieselbe etwas tiefer ist wie der Scalenton.
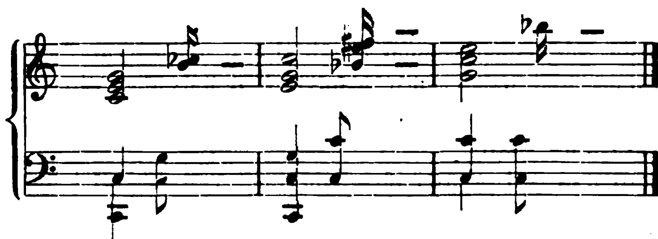
---

sammenklang möglicher Weise entstehenden Töne um mindestens 200 Schwingungen von einander abstehen, also das Gefühl der Rauhigkeit nicht entstehen kann, wegen der zu schnellen Folge der Schläge. Wir haben nämlich aus obigen Tönen mit ihren Obertönen Schwingungszahlen von: 200 $(\beta-\alpha)$, 400 $(2\beta-2\alpha)$, 600 $[(2\beta-\alpha)-(2\alpha-\beta)]$, 800 $[(2\beta-2\alpha)-(2\alpha-\beta)]$, 1000 $[2\alpha-(2\beta-\alpha)]$, 1200 $(2\alpha-\beta)$, 1400, 1600, 1800 $(2\beta-\alpha)$, 2000 $[2\beta-(\beta-2\alpha)]$, 2400 $[2\alpha-(2\beta-2\alpha)]$, 2600 $[2\alpha-(\beta-\alpha)]$, 2800, 3000 $[2\beta-(\beta-\alpha)]$, 3200. Damit ist die Tonreihe erschöpft, sie giebt aber unzweifelhafte Dissonanz. Aehnliche Fälle, mit selbst noch weiteren Intervallen giebt es viele.
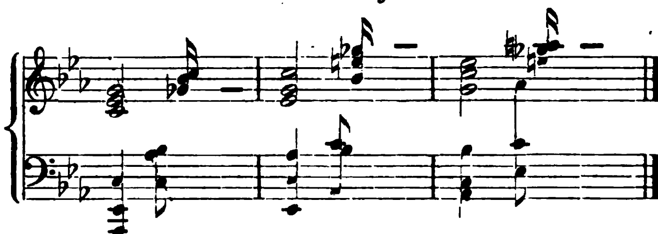
Es zeigt sich nun, dass bei den *consonanten* Intervallen ein grosser Theil der aufgezählten Toncombinationen mit den beiden ersten Theiltönen coincidirt, dass also die ganze Klangmasse bei den durch die Zahlen 1—5 auszudrückenden Intervallen wenige, aber stark entwickelte Töne enthält. Je mehr einfache Töne zugleich auf das Ohr wirken, um so weniger deutlich wird jeder einzelne Ton sein. Je mehr Coincidenzen unter den Tönen, die ein Intervall erzeugt, um so grösser die Befriedigung im Gefühle, je weniger Coincidenzen, um so verwirrender und darum unangenehmer der Eindruck. Dadurch würde sich also, selbst abgesehen von Rauhigkeiten, nach Preyer die Dissonanz erklären lassen. Er fügt diesem die Hypothese hinzu, dass eine der harmonischen Theilung entsprechende, numerische Anordnung der Schneckenfasern anzunehmen sei, welche das Auffinden und Erlernen der Intervalle erleichtern müsse.

Preyer giebt also eine Erklärung für das positiv Angenehme der Consonanz, das gleichfalls positive Gefühl des Unangenehmen der Dissonanz lässt sich aber doch wohl mit geringer Modification im Sinne von Helmholtz aufrecht erhalten. Wenn wir in den angeführten Fällen auch keine Rauhigkeiten mehr wahrnehmen, so sind doch unzweifelhaft Schwebungen in der Luft vorhanden. Sollten diese in unserem Gehörorgan wirkungslos bleiben, während unser Tastorgan sie noch leicht empfindet? Wenn auch die Otolithen bei z. B. mehr als 130 Schwebungen wegen continuirlicher Erregung nichts mehr zur Wahrnehmung bringen, vorausgesetzt, dass sie die Empfindung des Rauhen auslösen, der Tonapparat wird doch beweglich genug sein, um die Schwebungen mitzumachen! Sollte letzteres nicht etwa das Unangenehme der Empfindung bewirken? Man könnte sogar behaupten, die Rauhigkeit sei an sich dem Ohre ebenso wenig unangenehm, wie dem Auge, aber, da die Rauhigkeit der Dissonanz immer von Schwebungen in der Schnecke begleitet werde, welche in der That, ähnlich wie flimmerndes Licht für das Auge, unangenehm wirken dürften, so werde den Rauhigkeiten mit Unrecht das specifisch Unangenehme in der Dissonanz zugeschrieben, dies rühre von *unbewusster* Reizung der Schnecke her.

Durdreiklänge.



Molldreiklänge.



In dem ersten Beispiel des Durdreiklangs haben wir die Töne:

Grundtöne	Differenzen	Obertöne	Differenzen	Differenzen zwischen Grund- u. Obertöne	
396	—	792	132 2mal	396	198
330	66 2mal	660	660	528 2mal	264 2mal
264	132	528	264	462	330

Es treten hier also 5 neue Töne auf, von denen zwei nahe und gleichmässig genug sind, um zu schlagen, dieselben sind aber nur sehr schwach. Wenn man die Beispiele in dieser Beziehung durchgeht, findet man, dass bei den Durklängen die Schwebungen nicht so leicht und von schwächeren Tönen aus entstehen, wie bei den Molldreiklängen, welche letzteren schon bei den Combinationstönen der ersten Obertöne Schwebungen geben. Deshalb sind die Mollaccorde geeignet, eine unklare, trübe und rauhe Stimmung auszudrücken und zu erregen. Freilich gilt das nur für reine Stimmungen, bei temperirter Stimmung leidet die Reinheit der Accorde überall.

HELMHOLTZ hat den Gegenstand sehr eingehend erörtert, es muss darüber auf sein Werk verwiesen werden. Mit Recht fordert er für den Gesang, die Urquelle der Musik, eine reingestimmte Begleitung, damit der Sänger aus den entstehenden Schwebungen die Fehler seiner Intonirung erkennen kann [167], und nicht durch Schwebungen im Instrument gestört wird. Jetzt kann er bestenfalls zwischen den verschiedenen schwebenden Tönen wählen, mit welchem Ton er ein reines

167 Selbst eine wenig geübte Stimme schwebt nach A. KLÜNDER, Diss. Marburg 1872 weniger wie ein Mal die Sekunde.

Intervall bilden will; eine schwierige Aufgabe, die zugleich undankbar ist, weil befriedigende Reinheit dabei nicht herauskommen kann.

Die obige Lehre giebt für die Consonanz nur das negative Merkmal der Abwesenheit von Schwebungen.* OETTINGEN [168] fügt dem als positives Merkmal für die harmonische Bedeutung der Accorde und Intervalle, kurz für die Klangverwandtschaften, das Prinzip der Tonicität und Phonicität hinzu. Die *tonische* Verwandtschaft besteht in der Eigenschaft als Klangbestandtheil eines Grundtons, der als tonischer Grundton bezeichnet wird, aufgefasst werden zu können. Dieser Ton bestimmt, wie wir in der Einleitung sahen, auch die Wellenlänge der Klangcurve. Für das Intervall (c g) ist der tonische Grundton C, für den Dreiklang c $\bar{e}$ g ist er ein Unterton von C, nemlich C_{1}. Der Dreiklang besteht aus dem 4., 5. und 6. Theilton von C_{1}. Durch den tonischen Grundton und dessen nähere Untertöne treten die verschiedenen Zusammenklänge in *tonische Verwandtschaft.*

Phonicität ist die Eigenschaft eines Accordes oder Intervalls, stets irgend welche, allen Tönen gemeinsame Partialtöne zu besitzen. Der tiefste der allen gemeinsam zukommenden Partialtöne ist der phonische Oberton. Alle Töne singen diesen Oberton mit und er mag deshalb ziemlich stark hervortreten. c g hat als phonischen Oberton g' und die Reihe von dessen Theiltönen gemeinsam.

Es findet nun eine eigenthümliche Reciprocität statt zwischen den Moll- und Dur-Klängen:

Dur. c $\bar{e}$ g hat zum tonischen Grundton $C_{1} = \frac{1}{4}$ c zum phonischen Oberton $h''' = 15$ c
Moll. c $\underline{es}$ g hat zum phon. Oberton $g'' = 4$ g zum tonischen Grundton $\underline{As}_{111} = \frac{1}{15}$ g

und diese reciproke Symmetrie lässt sich durchgehend nachweisen, ist gesetzlich. Es scheint überhaupt, dass die Mollaccorde eine engere Beziehung zum phonischen Oberton, die Duraccorde zum tonischen Unterton haben.

Es kann hier jedoch ebensowenig auf das Gebiet der Musik, wie auf das der Rhythmik eingegangen werden. Nur auf einen Punkt dürfte noch aufmerksam zu machen sein.

Durch die neueren Untersuchungen in der Musik tritt uns immer deutlicher entgegen, dass wir mit Bezug auf Tonfall und Rhythmik unter recht scharfem Zwang physikalisch-physiologischer Gesetze stehen. So lange der Componist das Recht hat, uns zu leiten wie er will, tritt dieser Zwang weniger hervor. Soll aber eine auch dem Hörer sicher und im Voraus bekannte Absicht erreicht werden, so zeigt sich der Zwang deutlich. Dies findet namentlich dann

* Und nach PREYER: beschränkter Anzahl von Tönen.

168 A. v. OETTINGEN, Harmoniesystem in dualer Entwicklung. Dorpat u. Leipzig, Gläser. 1866.

statt, wenn ein Schluss gemacht werden soll. • Dabei müssen besonders Leittöne und Tonica genau beachtet werden, sonst kommt vieles Andere, aber kein befriedigender Schluss zu Stande.

Dasselbe findet für Tonfall und Rhythmus unserer Sprache statt, und hier in einer auch für unmusikalische Menschen sehr auffallenden Weise. Die Worte: kommen wir zum Schluss! können beispielsweise als Einleitung des Schlusses einer Rede nur in *einer* Weise gesprochen werden; Aenderungen des Tonfalls oder des Rhythmus können in verschiedener Weise angebracht werden, ändern und modificiren dann aber den Sinn jener Phrase, und diese Aenderung ist zwingend und erregt sogleich die Aufmerksamkeit in bestimmter Richtung.

II. Zeitsinn des Ohrs.

Ueber die Fähigkeit des Ohrs, Zeitunterschiede wahrzunehmen, haben wir von HÖRING[169], MACH[170] und VIERORDT[171] einige Bestimmungen. Takte werden von dem Ohr feiner wie von den anderen Sinnen unterschieden. Geprüft wurde namentlich der Taktschlag von Metronomen und Pendeln, sowie von Zahnrädern. Das Urtheil wird bei Pausen von weniger als 0,3 Sec., rasch zunehmend mit Verringerung der Zeit, unsicher. Für 0,3 Sec. wurde ein Unterschied von 3,3 % resp. 5 % noch erkannt, bei langsamer Schlagfolge werden die Fehler in der richtigen Erkenntniss des Taktes grösser, für 1,4 Sec. steigen sie etwa auf das doppelte. Bei Versuchen, die Schlagfolgen zu reproduciren, ergab sich, dass kurze Perioden zu lang, lange zu kurz angegeben wurden; das Urtheil zeigte also nicht nur eine gewisse Unsicherheit, sondern es war auch noch mit einem „constanten Fehler“ behaftet. Der Indifferenzpunkt, bei welchem dieser Fehler fortfällt, liegt verschieden, je nach der Individualität; bei drei Personen traf VIERORDT ihn bei Perioden von 1,5, 1,4 und 3 Secunden.

III. Raumwahrnehmung.

Während Geisteskranke geneigt sind, Binnengeräusche des Ohrs nach aussen zu verlegen, wissen sich Gesunde leicht und mit wenig Mühe vor dem Irrthum zu wahren. E. WEBER (65) glaubte, dass dies, und überhaupt die Orientirung über die Richtung der Schallquelle, mit Hülfe eines Gefühls von der Schwingung des Trommelfells erreicht werde. Er fand nemlich, dass man die Richtung, von welcher

169 HÖRING, Dissertat. Tübingen 1864.
170 MACH, Unters. üb. d. Zeitsinn d. Ohrs. Sitzgsber. d. Wien. Acad. Febr. 1865. S. 133.
171 VIERORDT, Zeitsinn. Tübingen 1868. Laupp.

der Schall komme, nicht mehr unterscheiden könne, sobald (im Wasser) die Trommelfellbewegung durch Füllung der Gehörgänge mit Wasser verhindert sei. SCHMIDEKAM (8) konnte dieser Ansicht nicht beipflichten, da im Wasser die Richtung, in welcher der Schall kommt, schon nicht mehr zu unterscheiden ist, wenn man ohne Füllung der Gehörgänge untertaucht. So völlig lässt sich überhaupt die Luft aus den fettigen Gehörgängen nicht entfernen, um das Trommelfell ganz am Schwingen zu hindern.

Es ist jedoch sicher, dass unterschieden wird, welches Ohr den Schall resp. den stärkeren Schall empfängt. Dies ist eins der Mittel, welche namentlich mit Hülfe von Kopfwendungen gestatten, sich im Raume zu orientiren. Von RAYLEIGH[172] sind unter guten Vorsichtsmassregeln am Abend Versuche an einem freien, stillen Platz mit sechs umgebenden Assistenten angestellt worden. Es zeigte sich, dass durchstehend ein Wort und Vokal, wenn in natürlicher Stimme gesprochen wurde, genügte, um die Richtung der Tonquelle bis auf wenige Grade genau angeben zu können. Anders verhielt es sich mit Tönen, welche nicht von Geräuschen begleitet waren. An welcher Stelle von zwei zugleich angeschlagenen Stimmgabeln die eine vor den Resonanzkasten gehalten wurde, konnte nicht unterschieden werden, wenn es sich um vorn und hinten, wohl aber wenn es sich um rechts und links handelte.

Der hierbei in Betracht kommende akustische Schatten ergiebt sich aus dem Verhältniss Wellenlänge: Kopfumfang = α (die Vorragung der Ohren nicht mitgerechnet?) wie folgt

	vorderer Pol	hinterer Pol	Aequator
$\alpha = 2$	0,690	0,318	0,356
$\alpha = 1$	0,503	0,285	0,237
$\alpha = 1/2$	0,294	0,260	0,232

$\alpha = 1/4$ giebt zwischen den beiden Polen (Ohren) nur einen Intensitätsunterschied von 1%. Da nun eine Stimmgabel von 128 v. d. welche diesem α entspricht noch richtig localisirt werden konnte, müsste man schliessen, dass bei solchen Untersuchungen die Intensitätsunterschiede genauer gewürdigt werden, als dies bisher die directen Experimente ergeben wollten. KRIES und AUERBACH (123) haben eine Reihe von Versuchen gemacht, um die Zeitdauer zu bestimmen, welche zur Localisation eines Schalls erforderlich ist. Auf der Peripherie eines Kreises von c. 60 Cm. Radius, in dessen Centrum der Kopf sich befand, wurden zwei Elektrodenpaare aufgestellt, zwischen denen der

172 RAYLEIGH, Nature. Vol. XIV. p. 32.

Funke überschlug. Die Stellungen wechselten von 120° (also zur Seite jedes Ohrs) bis zu 11° Abstand. Es musste entschieden werden, an welcher der beiden Elektroden das Geräusch entstand. Bei 120° Abstand verzögerte sich die Reaction durch die Entscheidung um 0,015—0,032 Sec., unter den ungünstigeren um 0,053—0,044 Sec.

Es lässt sich kaum verkennen, dass so genaue und prompte Localisationen sich nicht recht befriedigend aus dem akustischen Schatten, — der Intensitätsschätzung — erklären lassen. Es kommt eine eigenthümliche Beobachtung von Tarchanoff[173] hinzu, nach welcher bei dem Hindurchleiten intermittirender Ströme durch an beide Ohren gehaltene Telephone, der Ton genau in die Medianebene des Kopfes verlegt wird und bei kleinsten Intensitätsdifferenzen sich etwas aus derselben verschiebt. Man wird immer wieder veranlasst an die eigenthümliche Anordnung der halbcirkelförmigen Kanäle in drei aufeinander senkrechten Ebenen zu denken und sich zu fragen ob diese Bildungen etwas mit der Localisation im Raum zu thun haben könnten. Wenn man, abgesehen von der craniotympanalen Leitung ein Hören durch die Schädelknochen annehmen will, obgleich das Vorkommen dieses Processes nicht erwiesen ist, und selbst wenn man mit der grössten Freiheit über den Gang der akustischen Welle durch die Theile des Schädels disponirt, eröffnet sich keine weitere physikalisch-anatomische Möglichkeit für die Wahrnehmung der Richtung der Tonquelle durch die Kanäle. Die wenigen Autoren, welche von dieser Möglichkeit sprechen, haben daher auch keinerlei ernstliche Nachweise darüber gegeben, wie sich über den physikalischen Vorgang eine Vorstellung gewinnen lasse.

Die Schätzung der Entfernung scheint nur bei bekannten Klängen möglich zu sein. Hier mag vielleicht in Betracht kommen, dass nach Grinwis[174] die Intensität der Obertöne in grosser Entfernung gegen diejenige des Grundtons erheblich zunimmt und zwar im Quadrat ihrer Reihennummer, der p^{te} Oberton gewinnt eine verhältnissmässige Intensität gegen den Grundton bis zu p^2 der q^{te} bis zu q^2 u. s. w. Da der Klang also nicht nur leiser wird, sondern auch das Verhältniss der Partialtöne sich ändert, so kann daraus ein Urtheil über die Entfernung entnommen werden. Indem Mach ([175]) mit Hülfe einer Nörenberg'schen Röhre den Grundton schwächte, schien ihm der Ton einer Stimmgabel, und mehr noch der einer

---

173 Tarchanoff, St. Petersburger med. Wochenschr. No. 43. 1878. Mir nur aus Referaten bekannt. Die Beobachtung ist von Preyer, Jen. Sitzgsber. 21. Febr. 1879, bestätigt worden.

174 Grinwis, Ueb. cylindr. Schallwellen. Ann. d. Physik. 1877. Beibl. 8.

175 Mach, Ebenda. CXXIV. S. 331.

menschlichen Stimme, aus grösserer Entfernung herzukommen. Er erklärt die Aenderung des Klanges bei Entfernung aus der Annahme, dass bei Vermehrung der Intensität die Empfindung der tieferen Töne, bei Verminderung der Intensität die Empfindung der höheren Töne überwiege.

ANHANG.

Experimente an den halbcirkelförmigen Kanälen.

Eine von Flourens[176] 1828 gemachte und vollständig u. A. von Czermak[177] und Vulpian[178] bestätigte Beobachtung eigenthümlicher schüttelnder und drehender Kopfbewegungen, welche nach Verletzung der halbcirkelförmigen Kanäle eintreten, hat in Folge einer von Goltz[179] über diese Erscheinungen aufgestellten Hypothese zu einer grossen Zahl von Versuchen und Aeusserungen geführt.

Am meisten wurde an Tauben experimentirt, nächstdem an Fröschen, Kaninchen und Fischen.

Bei älteren Tauben entfernt man unterhalb des Ansatzes der Nackenmuskeln die äussere Lamelle des Occiputs; die Bogengänge liegen in dem spongiösen Gewebe frei vor, man eröffnet eine kleine Stelle in denselben und durchschneidet dort den häutigen Kanal. Häufig ist jedoch die Durchschneidung weniger schonend und mit Verletzung hier liegender grosser Venen, sowie des Aquaeductus vestibuli geschehen. Bei Fröschen können die Kanäle mit sehr geringer Verletzung sonstiger Theile durchschnitten werden, bei jungen Kaninchen dagegen muss man auf die Fläche des Felsenbeins, also mindestens an die Dura herangehen. Genaue Beschreibung der Operationen geben Böttcher[180], Cyon[181] und Anna Tomasewicz.[182]

Die Erscheinungen welche man beobachtet sind zu beziehen auf die directe Verletzung des knöchernen und häutigen Bogenganges, Verletzung und Erkrankung des Kleinhirns und auf die, in Folge

---

176 Flourens, Compt. rend. 1828 u. 1861. I. p. 673; ferner Recherches experimentales sur les propriétés d. syst. nerv. p. 438. 1842.
177 Czermak, Jenaische Ztschr. III. S. 101. 1867.
178 Vulpian, Leçons, Paris. 1866. S. 600.
179 Goltz, Arch. f. d. ges. Physiol. III. S. 172. 1870.
180 Böttcher, a) Kritische Bemerkgn. z. Literatur d. Gehörlabyrinths. Dorpat Gläser. 1872. S. 12. (Frosch.) b) Tröltsch's Arch. IX. S. 1. (Taube.)
181 Cyon, Methodik der physiol. Experimente. S. 540. Giessen, Ricker. 1876.
182 Tomaszewicz, Beiträge zur Physiologie d. Ohrlabyrinths. Diss. Zürich 1877.

des Traumas gesetzte, Aenderung in Haltung und Beweglichkeit des Kopfes. Es ist schwierig die verschiedenen Wirkungen und Nachwirkungen dieser Dinge auseinander zu halten. Trotz ausgiebigen Studiums der Literatur, und trotz eigener, seit 10 Jahren gemachter Erfahrungen, kann ich die für eine Schlussfolgerung genügende Basis nicht gewinnen. Am eingehendsten hat Böttcher die Versuche vorgeführt und auch er findet dass an einen Abschluss noch nicht zu denken sei.

Die Vorbereitung der Operation führt nicht oder nicht sogleich zu auffallenden Erscheinungen, jedoch genügt nach Berthold[183] das Abfliessen der Perilymphe, um die, auch von anderen (Bornhardt[184], Cyon) beobachtete Unsicherheit des betreffenden Beins bei Tauben zu veranlassen. Druck oder Zug an dem häutigen Kanal, der also die Endolymphe bewegt, bewirkt nach Bornhardt ([184]) starkes Abdrehen des Kopfes mit etwas pendulirender Bewegung, und zwar beim horizontalen Kanal nach der Seite, beim hinteren verticalen Kanal nach unten. Nach der Durchschneidung hören diese Bewegungen auf oder gehen in entgegengesetzter Richtung vor sich.

Einseitige Durchschneidungen pflegen nur beim Kaninchen anhaltende Bewegungen hervorzurufen, welche neben einem Schwanken des Kopfes und Vorderkörpers in auffallenden Wendungen der Augen bestehen. Cyon[185] besonders hat dieselben studirt und findet, dass Anfälle kürzerer oder längerer Dauer auftreten, in denen die Augen 20 bis 150 mal die Minute oscilliren. Die Durchschneidung des horizontalen Kanals führt die Augen nach vorn und unten, die der verticalen Kanäle nach hinten und oben. Die Oscillationen der Augen gehen beiderseits in entgegengesetztem Sinne vor sich, und nicht wie beim Nystagmus in demselben Sinne. Nach Durchschneidung des Nerv. acusticus der anderen Seite hören die Oscillationen auf und es bleibt nur eine Spannung in den genannten Richtungen. Das freigelassene Thier zeigt Rotationen um die Längsaxe und überhaupt schwere Bewegungsstörungen, die bei beiderseitiger Durchschneidung grösser und wechselnder zu werden scheinen.

Tauben geben erst bei doppelseitiger Durchschneidung schwerere Störungen. Namentlich sind oscillatorische Bewegungen des Kopfes (neben zeitweiser Augenverdrehung) das constanteste Symptom. Diese Oscillationen werden so heftig, dass der Rumpf davon mit ergriffen wird, das Thier umfällt und heftigste unbeholfene Bewegungen macht.

183 Berthold, Tröltsch's Arch. IX. S. 77. 1875.
184 Bornhardt, Arch. f. d. ges. Physiol. XII. S. 471. 1876.
185 E. de Cyon, Ebenda 1863. Compt. rend. 1876 u. 77 und namentlich: Recherches s. l. fonctions d. canaux semi-circulaires. Thèse No. 114. Paris 1878.

Das merkwürdigste dabei ist, dass die Bewegung bei Durchschneidung beider horizontalen Kanäle in Hin- und Herdrehungen des Kopfes in horizontaler Ebene besteht, bei Durchschneidung der verticalen dagegen der Kopf in der verticalen Ebene dreht. Sind die vorderen unteren Kanäle durchschnitten, so geht das Thier bei starken Anfällen rückwärts über, bei Durchschneidung der hinteren Kanäle vorwärts kopfüber. Die Bewegungen können so lange andauern bis das Thier erschöpft ist und können durch künstliche Fixirung des Kopfes beruhigt werden, bis eine stärkere oder stossweise Bewegung sie wieder hervorruft.

Zu diesen Bewegungen können sich früher oder später ausserordentliche Verdrehungen des Kopfes gesellen, wobei dann die Pendelbewegungen sistiren; ferner Störungen des Gangs, Manège oder Rotationsbewegungen, Schwäche eines Beins oder eines Flügels, oder beides, und natürlich Flugunfähigkeit. Gewöhnlich können die Thiere das Futter nicht selbst nehmen, sondern picken vorbei, auch ist Erbrechen beobachtet. Bei so stark entwickelten Erscheinungen gehen sie meistens zu Grunde. In diesen schwereren Fällen wurde so häufig ein Ergriffensein des Kleinhirns direct nachgewiesen ([182]), dass dasselbe dabei wohl immer angegriffen gewesen sein dürfte.

In anderen Fällen sind dagegen die Störungen ziemlich unbedeutend, die Pendelbewegungen verlieren sich nach einer Woche und die Thiere werden wie normale. Nach BÖTTCHER können die pendulirenden Drehungen des Kopfes sogar ganz ausbleiben, die Flugfähigkeit kann ausser gelegentlichem Tummeln gut sein und bald volle Genesung eintreten.

Zuweilen treten erst Stunden nach der Durchschneidung die Bewegungen ein, was ich häufig beobachtet habe.

Bei Fröschen zeigen sich die Folgen der Durchschneidung am ruhig sitzenden Thier kaum, oder nur in einer nicht im Voraus zu bestimmenden Drehung des Kopfes, beim Sprung deviirt das Thier, nach der Seite bei Verletzung der horizontalen, in die Höhe und rückwärts bei Verletzung der verticalen Kanäle. Beim Schwimmen steht es aufwärts in letzterem, schwimmt im Kreise in ersterem Fall. Fische zeigen ähnliche Verhältnisse.

Durchschneidung mehrerer oder ungleichnamiger Kanäle compliciren das Bild, ohne mehr Aufschlüsse zu geben. Die Thiere sollen nach Durchschneidung oder Entfernung der halbcirkelförmigen Kanäle noch hören können, während nach FLOURENS bei Entfernung der Schnecke Taubheit eintritt. Ob nicht in letzterem Fall die mechanischen Bedingungen des Hörens so verändert worden sind, dass kein

Schall mehr in das Labyrinth dringen kann, oder ob andererseits im ersteren Fall, durch Entzündung empfindlich gewordene Theile eine Schallerregung vortäuschen, dürfte noch nicht ganz sicher gestellt sein.

Von GOLTZ ist bemerkt worden, dass sich nach der Operation das Gleichgewicht der Thiere gestört erweise, ähnlich wie bei Thieren, welchen der Kopf in verdrehter Haltung fixirt wird oder denen die Muskeln des Nackens so stark verletzt wurden, dass die Kopfhaltung eine abnorme geworden war. Es bleibe dahingestellt, ob die Bogengänge Gehörorgane seien, ausserdem aber bildeten sie eine Vorrichtung, welche der Erhaltung des Gleichgewichts diene; sie seien sozusagen Sinnesorgane für das Gleichgewicht des Kopfs und mittelbar des ganzen Körpers.

Die Grundlage für diese Annahme hat sich als nicht haltbar erwiesen, denn die Verdrehung des Kopfes der Tauben ist als Hirnerscheinung anerkannt und die Störungen des Gleichgewichts der Frösche, wie GOLTZ sie beschrieben hat, findet sich nach BÖTTCHER bei gut operirten Thieren sicher nicht. GOLTZ ist der Ansicht, dass die Vertheilung des Drucks in den Bogenkanälen, die je nach Lage des Kopfes ein wenig verschieden ist, die Ursache der Wirkung der Kanäle auf die Erhaltung des Gleichgewichts sei. Diese Ansicht hat durch Arbeiten von MACH[186], BREUER[187] und CRUM BROWN[188] eine Modifikation und weitere Entwicklung erfahren. Es würde sich nicht nur um Druckgefühle handeln, sondern, ähnlich wie die Flüssigkeit in einem gedrehten Glase sich nicht gleich mit dreht, würde die Endolymphe die, den Kanälen vom Kopfe aus ertheilten Bewegungen nicht gleich mitmachen, und es würde demgemäss Reibung an den Wänden (Biegung der Härchen) entstehen müssen, wenn eine Beschleunigung oder ein Bewegungsantrieb die Kanälchen trifft. Wenn jedoch fraglich erscheint, ob die Flüssigkeit in so engen langen Kanälchen bei den in Betracht kommenden schwachen Beschleunigungen in Bewegung kommt, so wird dabei doch jedenfalls eine Aenderung in der Pressung der Flüssigkeit gegen die Wandungen zu erwarten sein. Diese Vorgänge treten in starker und durch andere Gefühle kaum controlirter Weise beim Schwindel nach Drehbewegungen ein, und während die dabei auftretende Störung des Gleichgewichts auf die Erregung in den halbcirkelförmigen Kanälen bezogen wird, erklären sich umgekehrt die Erscheinungen bei Durchschneidung der Kanäle aus der Abnormität der dann eintretenden Druck- oder Bewegungsempfindungen.

186 MACH, Versuche üb. d. Gleichgewichtssinn. Sitzgsber. d. Wiener Acad. Nov. 1873. Derselbe, Grundlinien d. Lehre v. d. Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.

187 BREUER, Jahrbücher d. Ges. d. Aerzte. Wien 1874 u. 75.

188 CRUM BROWN, On the sense of rotation. Journ. of Anatomy and Physiol. VIII.

Gegen diese Ansichten, die ja theoretisch wohl begründete sind, macht CYON(185) geltend, dass die Thiere bei Durchschneidung des N. acusticus nach Rotationen noch durchaus dieselben Schwindelerscheinungen zeigen, wie wenn sie intact wären. Es würden also doch die Druckdifferenzen keine solche physiologische Bedeutung für das Schwindelgefühl und somit für die Erhaltung des Gleichgewichts haben, als man anzunehmen geneigt war. Auch TOMASZEWICZ hat in zahlreichen Versuchen gefunden, dass die Schwindelerscheinungen völlig unabhängig von den verschiedenartigsten Eingriffen auf das Labyrinth sind.

CYON stellt die Ansicht auf, dass wir in den Kanälen ein Organ für den Raumsinn besitzen. Er findet, dass die nervösen Centren der halbcirkelförmigen Kanäle in inniger Beziehung zu dem Centrum des Oculomotorius stehen, und daher ihre Reizung in entscheidender Weise in die Bildung unserer Erfahrungen über das Vorhandensein und die Dimensionen des Raums eingreifen kann; namentlich vermöge der Lage der Bogen, welche einigermaassen den drei Coordinaten des Raums entsprechen. Wenn ich die Ansicht CYON's richtig verstehe, würde also durch die Gefühle in den Kanälen für unseren Kopf und folglich den ganzen Körper der festgelegte 0-Punkt der drei Coordinaten des Raums geschaffen werden, von dem aus man den Raum mit Hülfe der Sinnesorgane und deren Bewegungen durchforschen kann. Die von CYON angewendete Bezeichnung „notion de l'espace" wäre dann etwa als „Bewusstsein unserer Lage im Raum" zu übersetzen. Durch die Gefühle in den halbcirkelförmigen Kanälen würde also der Theil unseres Selbstbewusstseins eine Erklärung finden, welcher es bewirkt, dass wir nach unserem ursprünglichen Gefühl uns als Mittelpunkt erscheinen, um welchen sich alle Körper drehen. Wir kennen aber bis jetzt keinen Fall, wo dies Gefühl nicht vorhanden oder verloren gegangen wäre, während die halbcirkelförmigen Kanäle muthmaasslich bei Taubstummen nicht immer functionsfähig sind und in der That derartige Befunde schon verzeichnet sind.*

Es werden unter dem Namen der MENIÈRE'schen Krankheit [189] Leiden beschrieben, welche (als eine Art von Ohrenglaukom) Taubheit und Schwindelgefühle mit, sofern den ja sehr schwierigen Sectionen zu trauen ist, Erkrankung des Labyrinths, nachweisen. Soweit ich mich habe orientiren können, trage ich Bedenken, daraus Thatsachen und Schlüsse für die Physiologie zu entnehmen.

Es kann zweifelhaft sein, ob die Durchschneidungen zu Lähmun-

* Compt. rend. XXXI. p. 569.

189 MENIÈRE, Gazette médicale de Paris. p. 29, 25, 88, 239, 379, 597.

gen oder zu Reizungen führen. LÖWENBERG[190] hat, mit Hülfe der schon von FLOURENS benutzten Exstirpation des Grosshirns oder mit Hülfe der Narkose, also den Willen des Thiers ausschliessend, gefunden, dass es sich bei den Pendelbewegungen um Reizungserscheinungen reflectorischer Art handelt. Dieselben treten auf als unmittelbare Folge des Eingriffs und wenn äussere Anstösse reizend wirken. Wir dürfen mit BREUER die Reizungen durch den Ausfluss der Endolymphe gesetzt denken, denn dabei wird die Flüssigkeit an der Crista acustica vorbeiströmen. In der That nässt die Wunde geraume Zeit hindurch. Die Pendelbewegungen sind, wenigstens für den horizontalen und äusseren Kanal der Art, dass sie dem Ausfluss und dessen Folgen entgegen wirken, wenn aber *beide* horizontalen Kanäle durchschnitten sind, so beschleunigt die Drehung für den einen Kanal die Bewegung der Flüssigkeit um ebensoviel, wie sie dieselbe im anderen Kanal hemmt, während der Ausfluss für die Vertikalkanäle zum Ueberkugeln führen muss. Dabei ist es gleichgültig, ob die gesetzten Empfindungen Geräusche sind oder sonst peinliche Gefühle. Jedenfalls scheint es nothwendig, eine Beziehung zwischen gewissen Muskelgruppen und den Ampullennerven anzunehmen.

Als Besonderheit sind noch Beobachtungen über dauernde Aenderung der Kopfhaltung bei Mangel des Labyrinths zu erwähnen. VULPIAN (177. S. 602) beschreibt eine solche von einem Hahn und ausführlicher MUNK[191] von einer Taube, bei welcher rechts nicht die mindeste Spur der Bogengänge vorhanden war, welche sich links normal verhielten. Ueber 6 Monate lang war bei der Taube der Kopf 90° um die sagittale Axe nach rechts, 45° um die verticale Axe nach links herumgedreht. Der Schnabel stand nach links und vorn, das rechte Auge sah gerade nach oben, das linke nach unten. Die Taube konnte nicht fliegen, war aber sonst normal. Der Hahn hatte sich die Verletzung im Kampf zugezogen, über die Vorgeschichte der Taube war nichts zu ermitteln, ihr Tod erfolgte plötzlich. Es ist bis auf Weiteres vielleicht zu glauben erlaubt, dass in diesen Fällen unbemerkt gebliebene Störungen im Gehirn die Erscheinungen mit verursacht haben, da bei Zerstörung des Acusticus einer und beider Seiten von solchen Symptomen nichts beobachtet ist.[192] (182)

190 LÖWENBERG, Arch. f. Augen- u. Ohrenheilkunde. III. 1872.
191 MUNK, Verh. d. physiol. Ges. 16. Juli 1878. Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1878.
192 SCHIFF, Lehrb. d. Physiol. S. 399. Lahr, Schauenburg. 1858/59.

PHYSIOLOGIE DES GESCHMACKSSINNS

UND

DES GERUCHSSINNS

VON

PROF. DR. M. V. VINTSCHGAU IN INNSBRUCK.

PHYSIOLOGIE DES GESCHMACKSSINNS.

EINLEITUNG.

Die Geschmacksempfindungen sind mit anderen Sinnesempfindungen meistens so innig verknüpft, dass es uns sehr oft nicht gelingt, beide Gruppen im Bewusstsein getrennt zu halten, und man kann wohl die Behauptung aufstellen, dass manchmal Empfindungen als Geschmäcke bezeichnet werden, bei welchen die Geschmacksnerven gar nicht oder nur in sehr untergeordnetem Grade erregt worden sind.

Am meisten und am intensivsten werden unsere Geschmacksvorstellungen von den Gefühls- und Geruchsempfindungen beeinflusst, obwohl man auch dem Gesichtssinn einen Einfluss auf dieselben nicht absprechen kann, da wir im Dunklen oder mit geschlossenen Augen weniger sicher über Geschmäcke urtheilen.

Die Beiworte, welche wir den einzelnen Geschmäcken beilegen, sind meistens von jenen Empfindungen entlehnt, welche die reinen Geschmacksempfindungen begleiten; so um etliche Beispiele anzuführen, sprechen wir von einem zusammenziehenden, stechenden, scharfen, beissenden Geschmack, obwohl es sich in solchen Fällen vorzugsweise um eine Erregung des Gefühlssinnes der Mundhöhle handelt. Die Ausdrücke von einem kühlenden, brennenden Geschmack beziehen sich auf eine gleichzeitige Erregung des Temperatursinnes, und endlich die Worte aromatisch, würzig deuten an, dass der Geruchssinn erregt wurde, denn schmeckbare aber nicht riechbare Substanzen können keine sog. aromatischen oder würzigen Geschmacksempfindungen hervorbringen.

Chevreul[1] hat zuerst angegeben, auf welche Weise es möglich ist, die anderen neben dem Geschmacke auftretenden Empfindungen zu trennen, um zu erfahren, was eigentlich dem Geschmackssinn allein angehört.

---

1 Chevreul, Des différentes manières dont les corps agissent sur l'organe du goût. F. Magendie Journal de Physiologie expérimentale et pathologique IV. Paris 1824.

Um eine Tast- von einer Geschmacksempfindung zu trennen, empfiehlt sich die Application der zu prüfenden Substanz auf die Schleimhaut der Mundhöhle oder jener Zungentheile, welche für den Geschmack nicht bestimmt sind, mit der Vorsicht jedoch, dass dieselbe ja nicht mit schmeckenden Theilen in Berührung komme.

Um den Geruchssinn auszuschliessen, haben wir kein anderes Mittel, als die Nase zuzudrücken, oder durch den Mund allein zu athmen. Es ist eine bekannte Erfahrung, dass feine Weine von ihrer Annehmlichkeit verlieren, wenn man beim Trinken die Nase zuhält, und dass Menschen ohne Geruchssinn den specifischen Geschmack einer Reihe Substanzen nicht vollkommen zu erkennen im Stande sind, obwohl Picht [1], welcher die Gerüche nicht wahrnahm, diess für seine Person nicht zugibt.

Werden nun viele Substanzen mit Anwendung der angeführten Vorsichten geprüft, dann wird man bald die Ueberzeugung gewinnen, dass eine ganze Reihe derselben nicht unter die schmeckbaren gezählt werden darf.

In früheren Zeiten hat man auch die Frage aufgeworfen, ob der Geschmackssinn wirklich wie das Gesicht, das Gehör und der Geruch in strengster Bedeutung des Wortes als specifischer Sinn angesehen werden dürfe oder ob derselbe nicht als eine Modification der allgemeinen Sensibilität aufzufassen sei. Für uns hat aber gegenwärtig diese Frage keine Bedeutung mehr, da wir nun wissen, dass fast an allen jenen Stellen, welche mit Geschmack versehen sind, auch ganz eigenthümlich gebaute Endorgane (Schmeckbecher) der Nerven sich vorfinden, dass der n. glosso-pharyngeus, wenn auch nicht von allen Physiologen als der ausschliessliche, doch von allen ohne Ausnahme als der hauptsächlichste Geschmacksnerv angesehen wird, und dass nach Durchschneidung desselben die Schmeckbecher am Zungengrund (Pap. circumvallatae et pap. foliata), dem Hauptsitze des Geschmackssinnes, vollständig verschwinden.[2] Wir können somit durchaus nicht zweifeln, dass der Geschmack als ein specifischer Sinn aufgefasst werden muss, ebenso wie wir als solchen den Geruch, das Gesicht und das Gehör bezeichnen.

---

1 F. Picht, De gustus et olfactus nexu praesertim argumentis pathologicis et experimentis illustrato Dissert. Berolini 1829.

2 M. v. Vintschgau und J. Hönigschmied, Nervus glosso-pharyngeus und Schmeckbecher. Archiv für die gesammte Physiologie etc. XIV. S. 443 u. folg.

ERSTES CAPITEL.

Das Geschmacksorgan.

I. Anatomische Gebilde des Geschmacksorgans.

1. Die Geschmackspapillen.

Von den drei Gattungen Papillen, die an der Zunge vorkommen, sind nur zwei für den Geschmackssinn bestimmt, nämlich die Papillae fungiformes und die Papillae circumvallatae. — Hiezu muss noch die sogen. Papilla foliata, oder wie einige Physiologen dieselbe genannt wissen wollen, die Regio foliata gerechnet werden.

Die Pap. foliata war schon Albin[1] bekannt wie Krause[2] und J. Hönigschmied[3] mittheilen. — Rapp[4] hat im Jahre 1832 bei verschiedenen Säugethieren am hinteren Theil des Zungenrandes eine Reihe dicht nebeneinander liegender Querspalten beobachtet, und fand dieselben auch bei manchen Menschen wieder. Die Verrichtung dieser Spalten blieb ihm jedoch unbekannt. — Zwei Jahre später 1834 hat Elsässer[5] (in der Note XXI, S. 352—357) angegeben, dass „der Geschmack aller Substanzen auf „den Pap. circumv. und an einer Stelle des hinteren Theils vom Seiten„rand der Zunge“ am intensivsten sei. Diese Stelle ist nach der Beschreibung, welche Elsässer für die Zunge des Menschen und des Kaninchens gibt nichts anderes als die Pap. foliata; Elsässer nennt diese Stelle ganz richtig die „Schmeckspalten der Zunge“. — Die Aufmerksamkeit der Anatomen wurde dann im Jahre 1842 neuerdings auf dieses Gebilde gerichtet als J. F. C. Mayer[6], ohne die Beobachtungen Rapp's und Elsässer's zu kennen, Schleimhautfalten in der Zungenschleimhaut des Menschen und einer grossen Anzahl von Säugethieren beschrieb, dieselben als Pap. lingualis foliata seu interlocularis bezeichnete und als Nervenpapille auffasste.[7]

---

1 Albinus, Academicarum Annotationum. Lib. I. S. 58. Leidae 1754; nach J. Hönigschmied citirt.

2 Krause, Die Nerven-Endigung in der Zunge des Menschen. Göttinger Nachrichten 1870. S. 423.

3 J. Hönigschmied, Beiträge zur microscop. Anatomie der Geschmacksorgane. Ztschr. f. wissensch. Zool. XXIII. S. 414.

4 Rapp, Die Verrichtungen des fünften Nervenpaares. S. 8 Anm. Leipzig 1832.

5 Elsässer in F. Magendie Lehrbuch der Physiologie, aus dem Französischen übersetzt mit Anmerkungen und Zusätzen von D. C. L. Elsässer. 3. Aufl. I. Tübingen 1834.

6 J. F. C. Mayer, Neue Untersuchungen aus dem Gebiete der Anatomie und Physiologie. S. 25 und 26. Bonn 1842.

7 Nach Mayer hat Arnold in seinen anatomischen Tafeln die Seitenfurchen der Zunge als Striae transversae genau bezeichnet, aber dieses Organ nicht davon getrennt und unterschieden.

Die Angaben MAYER's wurden auch von HUSCHKE in einer Anmerkung S. 590 (Eingeweidelehre des Menschen) ausführlich mitgetheilt (vergl. EXNER[1]). — BRÜHL[2] anknüpfend an die Beobachtungen RAPP's und MAYER's beschrieb im Jahre 1850 ein solches Gebilde bei einigen Haus-Säugethieren; dasselbe wurde aber von ihm als Zungenrückendrüse bezeichnet. KÖLLIKER[3] 1852 S. 35 nannte dieses Organ die Randdrüsen der Zungenwurzel. — Es war jedoch dem letzten Decennium vorbehalten die Wichtigkeit dieser Falten (Pap. foliata) für den Geschmackssinn mit voller Sicherheit zu bestimmen, womit auch die Ansicht ELSÄSSER's bestätigt wurde.

Wir müssen bezüglich des Vorkommens und der Form der Pap. foliata bei den einzelnen Säugethieren auf die Schriften von MAYER (l. c.), v. WYSS[4], ENGELMANN[5], v. AYTAI[6], HÖNIGSCHMIED[7] und v. EBNER[8] verweisen.

2. *Stellen, an welchen die Schmeckbecher vorkommen.*

Als die wichtigsten Endgebilde der Geschmacksnerven bei den Säugethieren müssen wir die gleichzeitig von LOVÉN[9] und von SCHWALBE[10] entdeckten Gebilde betrachten, welche vom ersteren als Geschmacksknospen oder Geschmackszwiebeln, vom zweiten, nach dem Vorschlage von M. SCHULTZE, als Schmeckbecher bezeichnet wurden. W. KRAUSE (cit. S. 147) nennt dieselben Epithelknospen, HENLE[11] Geschmacksknospen.

Was das Vorkommen der Schmeckbecher betrifft, so ist folgendes anzuführen:

Papillae circumvallatae (LOVÉN, SCHWALBE, HÖNIGSCHMIED). Bei allen bis jetzt untersuchten Säugethieren fand man

1 EXNER, Med.-chirurg. Rundschau. Juni-Heft. S. 400. Wien 1872.

2 BRÜHL, Ueber das MAYER'sche Organ an der Zunge der Haus-Säugethiere oder die seitliche Zungenrücken-Drüse derselben. Vierteljahrschrift für wiss. Veterinärkunde I. S. 165. Wien 1851 und Kleine Beiträge zur Anatomie der Haus-Säugethiere. Wien 1850.

3 A. KÖLLIKER, Microscopische Anatomie II. Specielle Gewebelehre. 2. Hälfte. 1. Abth. Leipzig 1852.

4 VON WYSS, Ueber ein neues Geschmacksorgan auf der Zunge des Kaninchens. Centralbl. f. d. med. Wiss. Nr. 35. S. 548. 1869. Derselbe, Die becherförmigen Organe der Zunge. M. SCHULTZE, Arch. f. microscop. Anat. VI. S. 238.

5 ENGELMANN, die Geschmacksorgane in STRICKER's Gewebelehre. S. 822.

6 A. v. AYTAI, Ein Beitrag zur Kenntniss d. Geschmacksorgane. Arch. f. micr. Anat. VIII. S. 455.

7 J. HÖNIGSCHMIED, cit. S. 147. Derselbe, Kleine Beiträge zur Vertheilung der Geschmacksknospen bei den Säugethieren. Ztschr. f. wiss. Zool. XXIX. S. 255. 1877.

8 V. RITTER VON EBNER, Die acinösen Drüsen der Zunge und ihre Beziehungen zu den Geschmacksorganen. Gratz 1873.

9 LOVÉN, Beiträge zur Kenntniss vom Bau der Geschmackswärzchen der Zunge. Arch. f. microscop. Anat. IV. S. 96. 1867.

10 SCHWALBE, Das Epithel der papillae vallatae. Vorläufige Mittheilung. Arch. f. microscop. Anat. III. S. 504. 1867. Derselbe, Ueber die Geschmacksorgane d. Säugethiere und des Menschen. Arch. f. microscop. Anat. IV. S. 154. 1867 und M. SCHULTZE, Erklärung die Entdeckung der Schmeckbecher von G. SCHWALBE betreffend. Arch. f. microscop. Anat. VIII. S. 660. 1872.

11 HENLE, Handbuch der system. Anatomie des Menschen II. 2. Aufl. S. 873. 1873.

dortselbst Schmeckbecher. Bei einigen finden sie sich bloss in dem durch den Wall geschützten Seiten-Epithel der Papille, welche sie gürtelförmig umgeben; bei anderen (Mensch, Hund, Ratte, Kaninchen, Hasen, Wühl- und Hausmaus) auch an der entsprechenden Seite des Ringwalles; bei den zwei erst Genannten jedoch nur in einzelnen Exemplaren, während sie bei den anderen gewöhnlich in derselben Zahl wie am seitlichen Abhange der Papille anzutreffen sind. Beim Menschen und bei einer Reihe Säugethieren kommen sie in wechselnder Zahl auch auf der freien Oberfläche der umwallten Papillen vor (SCHWALBE[1], HÖNIGSCHMIED[2]).

Papillae fungiformes (LOVÉN (cit. S. 148), SCHWALBE (l. c.), v. WYSS (cit. S. 148), W. KRAUSE (cit. S. 147), ENGELMANN (cit. S. 148), HÖNIGSCHMIED (cit. S. 147), DITLEVSEN[3], HOFFMANN[4]). In dem Epithel, das die obere Fläche der Papillen überzieht und auch an den Seitenflächen desselben wurden Schmeckbecher beobachtet. Ihre Zahl ist aber klein und bei den verschiedenen Thiergattungen wechselnd.

Papilla foliata (v. WYSS, ENGELMANN, HÖNIGSCHMIED, HOFFMANN). Bei allen jenen Thieren, an welchen bis jetzt eine Pap. foliata gefunden wurde, hat man daselbst auch Schmeckbecker entdeckt.

Auf dem hintersten Abschnitte des Zungenrückens, bis dicht zu der Stelle, wo sich die Schleimhaut des Zungenrückens auf die Epiglottis überschlägt, hat A. HOFFMANN (l. c.) noch deutliche Geschmacksknospen gesehen.

Der weiche Gaumen. A. HOFFMANN (l. c.) bemerkt, dass an demselben neben zahlreicheren kleineren Papillen auch seltenere grössere Papillen vorkommen, welche in der Gegend der Uvula besonders zahlreich sind. Sehr viele dieser grösseren Gaumenpapillen besitzen Schmeckbecher und er fand solche geschmacksknospentragende Papillen regelmässig in jener Gegend des weichen Gaumens, welche etwas oberhalb der Uvula gelegen ist. Jede Papille dieser Gegend trug mehrere Schmeckbecher (S. 524). A. HOFFMANN fand grosse, denen am weichen Gaumen ähnliche Papillen bis zur Grenze

1 SCHWALBE, Zur Kenntniss der Papillae fungiformes d. Säugethiere. Centralbl. f. d. med. Wiss. Nr. 28. S. 433. 1868.

2 J. HÖNIGSCHMIED, Ein Beitrag üb. die Verbreitung der becherförmigen Organe auf der Zunge der Säugethiere. Centralbl. f. d. med. Wiss. No. 26. S. 401. 1872.

3 DITLEVSEN, Undersögelse over smaglögene paa tungen hos patte dyrene og mennesket Kopenhagen 1872. Referat in HOFMANN und SCHWALBE Jahresb. I. Lit. 1872. S. 211.

4 A. HOFFMANN, Ueber die Verbreitung der Geschmacksorgane beim Menschen. Arch. f. pathol. Anat. LXII. S. 516. 1875.

zwischen hartem und weichem Gaumen, sowie auch auf der gegen die Mundhöhle zugewandten Fläche des Arcus glosso-palatinus. A. HOFFMANN sagt aber nicht, dass er hier Schmeckbecher wahrgenommen habe (S. 524).

Epiglottis. VERSON[1] hat zuerst becherförmige ungefähr im zweiten Viertel der hinteren Epiglottisfläche des Menschen liegende Organe beschrieben. Nachher wurden sie bei Menschen und Thieren von verschiedenen Forschern beobachtet (KRAUSE (cit. S. 147), HÖNIGSCHMIED (cit. S. 147), SCHOFIELD[2], DAVIS[3]). — A. HOFFMANN (cit. S. 149) hat niemals auf der Epiglottis wirkliche Geschmacksknospen gefunden. Die ausführlichste Beschreibung über das Vorkommen der becherförmigen Organe an der Epiglottis und an verschiedenen Theilen des Kehlkopfes verdanken wir DAVIS (l. c.). Beim erwachsenen Menschen fand dieser die Schmeckbecher mehr in den oberen Partien der Hinterfläche der Epiglottis, ausserdem an der inneren Fläche des Processus arytaenoideus, ferner auch einige an der Aussenseite desselben dicht unter der Spitze. — Die becherförmigen Organe des Kehlkopfes sind sehr übereinstimmend mit jenen der Zunge gebaut.

Es sei hier schliesslich noch erwähnt, dass v. EBNER (cit S. 148) in der Nähe der umwallten und der blättrigen Papillen seröse Drüsen beschrieben hat, welche für die Geschmacksorgane von Bedeutung zu sein scheinen.

3. Die Schmeckbecher.

Die mikroskopische Struktur der Geschmacksknospen bei den Säugethieren wird von allen Forschern (LOVÉN (cit. S. 148), SCHWALBE (cit. S. 148), v. WYSS (cit. S. 148), ENGELMANN (cit. S. 148), v. AYTAI (cit. S. 148), DITLEVSEN[4], HÖNIGSCHMIED (cit. S. 147)), fast übereinstimmend angegeben, und die kleinen Abweichungen, die wir finden, beziehen sich meistens auf die Formen der inneren Zellen.

Die Gestalt und die Grösse der Schmeckbecher ist nicht bloss bei verschiedenen Thieren, sondern auch bei demselben Thier, je nach dem Orte, an welchem sie vorkommen etwas verschiedenartig;

---

1 VERSON, Beiträge zur Kenntniss des Kehlkopfes und der Trachea. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 1. Abth. LVII. S. 1093. 1868. Derselbe, Kehlkopf und Trachea in STRICKER's Handbuch der Lehre von den Geweben I. S. 456. Leipzig 1871.

2 SHOFIELD R. H. A., Observations of taste-goblets in the epiglottis of the dog and cat. Journ. of anat. and physiol. X. p. 475. 1876. Nach Hofmann und Schwalbe's Jahresberichten V. S. 362. Literatur 1876.

3 DAVIS C., Die becherförmigen Organe des Kehlkopfes. Arch. f. microscop. Anat. XIV. S. 158. 1877.

4 DITLEVSEN, Hofmann und Schwalbe's Jahresbericht 1872. S. 211 und Henle, Handbuch der syst. Anatomie. II. 2. Aufl. S. 873 ff. 1873.

im allgemeinen jedoch besitzen dieselben eine Form, welche einem Glaskolben mit kurzem Halse sehr ähnlich ist, ihr Längsdurchmesser übertrifft den grössten Dickendurchmesser SCHWALBE (l. c.), ENGELMANN (l. c.), HÖNIGSCHMIED (l. c.).

Der untere oder innere Theil des Schmeckbechers ruht auf dem Bindegewebe der Schleimhaut, der Körper und vorzugsweise der obere schmächtigere Theil wird von den Epithelzellen umgeben. Jeder Schmeckbecher mündet an der Oberfläche des Epithels mit einer Oeffnung, die man Porus nennt. Das Wort Porus wird häufig gebraucht, nicht bloss um die äusserste Oeffnung, sondern auch um den ganzen kurzen Kanal in der Epithelschicht zu bezeichnen. Der Durchmesser dieses Porus beträgt 0,0064 bis 0,0198 mm. und wird bald von zwei bald von drei Zellen begrenzt, die in entsprechender Weise ausgeschnitten sind; manchmal wird der Porus nur von einer einzigen durchbohrten Zelle gebildet. Auf gleiche Weise ist auch der kurze Kanal von den Epithelzellen begrenzt.

An jeder Geschmacksknospe unterscheidet man zwei Arten Zellen: äussere oder oberflächliche als Deck-, Stütz- oder Umhüllungszellen und innere oder centrale als Geschmacks- oder Stiftchenzellen. — Die Deckzellen, welche als metamorphosirte Epithelzellen angesehen werden können, umgeben die Schmeckbecher wie die Kelchblätter eine Blumenknospe, und decken sich auch theilweise in Form von Dachziegeln. Diese Zellen sind lang, schmal, spindelförmig und gekrümmt; sie besitzen einen deutlichen Kern, das periphere oder äussere Ende ist zugespitzt, das centrale oder innere ist manchmal verästelt (LOVÉN, SCHWALBE, WYSS, HÖNIGSCHMIED l. c.). — Die Geschmackszellen sind dünn, lang und stark lichtbrechend; ihr Körper wird fast ganz von einem schönen Kern ausgefüllt, und geht in zwei deutliche Fortsätze über; der obere oder periphere Fortsatz ist mässig breit und trägt eine kurze feine einem Stiftchen oder Härchen ähnliche Spitze, daher auch der Name Stiftchenzellen. Die Stiftchen liegen innerhalb des kurzen Kanals und ragen höchst selten aus dem Porus heraus. Der untere oder centrale Fortsatz ist dünn und theilt sich wieder in mehrere Fortsätze (ENGELMANN, WYSS). — Die Zahl der Geschmackszellen wird sehr verschiedenartig angegeben (LOVÉN, WYSS, HÖNIGSCHMIED).

Es ist noch anzuführen, dass SCHWALBE (cit. S. 148) zwei Gattungen Geschmackszellen unterscheidet: die Stiftchenzellen, die eben erwähnt wurden, und die Stabzellen, bei welchen der obere Fortsatz kürzer, gleichmässig breit, vorne abgesetzt und ohne Stift ist. — Auch WYSS (cit. S. 148) beschreibt eine zweite Art von Geschmackszellen, meint

aber, dass diese von den gewöhnlichen Stiftchenzellen nicht wesentlich verschieden seien. — KRAUSE (cit. S. 147) erwähnt dreierlei Formen der inneren Zellen, die er mit den Namen Spindel-, Stäbchen und Gabelzellen belegt. — Auch DITLEVSEN[1] unterscheidet drei Gattungen Zellen, nämlich Stab- Gabelzellen und eine dritte Form, die er nicht näher bezeichnet, er lässt sogar unentschieden, ob letztere eigenthümlicher Art oder verstümmelte Stabzellen seien.

SCHWALBE beschrieb ausserdem beim Schaf an der Spitze der Knospe einen Kranz von feinen kurzen Härchen, deren Spitzen nach innen convergiren, er vermuthet, dass sie auf den Spitzen der Deckzellen aufsitzen; HÖNIGSCHMIED (cit. S. 147) hat diese Härchen nicht beobachtet, auch SCHWALBE führt an, dass bei Menschen und bei anderen Thieren diese Härchen nicht nachzuweisen waren.

4. *Zusammenhang der Nervenfasern mit dem Schmeckbecher.*

Eine interessante histologische Frage ist der Zusammenhang der Schmeckbecher mit den Nervenfasern. Dass ein solcher Zusammenhang vorkommen müsse, wird von allen Autoren, die sich mit den Schmeckbechern befassten, vorausgesetzt, die positiven Angaben sind aber noch spärlich.

Sowohl in der Nähe der Papillae circumvallatae, wie auch der Papilla foliata findet man im Verlaufe der Nervenbündel sehr zahlreiche kleinere oder grössere Anhäufungen von Ganglienzellen. (SCHWALBE (cit. S. 148), ENGELMANN (cit. S. 148).[2]

Ueber das Verhalten der Nerven innerhalb der Papillen liegen verschiedenartige Angaben vor, es scheint aber dass bei den einzelnen Thiergattungen Unterschiede vorkommen. — SCHWALBE (l. c.), v. WYSS (l. c.), ENGELMANN (l. c.) und KRAUSE (l. c.) konnten den Zusammenhang der Nervenfasern mit den Schmeckbechern nicht beobachten, nur LOVÉN (cit. S. 148) Note S. 107, sagt: er habe in einem Falle einen deutlich doppelt contourirten, kernhaltigen Nervenfaden durch eine sehr körnige Masse, in welcher zahlreiche Kerne eingebettet waren, mit drei von der Umgebung isolirten Geschmackszwiebeln zusammenhängen gesehen. — HÖNIGSCHMIED (cit. S. 147) beobachtete an der Papilla foliata des Kaninchens nach der Behandlung mit verdünnter Chromsäure ($^1/_{50}$ pCt.) eine directe Verbindung der Nervenfasern mit den centralen Ausläufern der Geschmackszellen, jedoch bleibt diese Beobachtung, insofern die Differenzirung so feiner Ner-

1 Nach der Angabe von HENLE in Handbuch der syst. Anatomie des Menschen. II. 2. Aufl. S. 873ff. 1873.

2 REMAK (Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 58. 1852) fand an den feinsten Aestchen des r. lingualis trigemini im Inneren der Zunge kleine Ganglien (vgl. Henle's Nervenlehre. 2 Aufl. S. 436. 1879).

venfasern von den übrigen Geweben ungemein schwer ist, noch zweifelhaft. In einem andern Falle gelang es ihm durch Goldchlorid an einer Papilla fungiformis der Katze den Zusammenhang zwischen Nervenfasern und Schmeckbechern zu beobachten, wobei er annimmt, dass die Nervenfasern mit den Geschmackszellen in Verbindung stehen, da die äusseren Deckzellen durch das Goldchlorid nicht gefärbt waren. — Sertoli[1] beschreibt an der Pferdezunge die Verbindung der Schmeckbecher mit den Nervenfasern in der Art, dass aus dem subepithelialen nervösen Plexus Fasern bis in die Schmeckbecher gelangen; diese selbst waren durch das Goldchlorid stark gefärbt und Sertoli konnte desshalb nicht beobachten wie die Nervenfasern sich mit den Geschmackszellen verbanden.

Sertoli beschreibt ausserdem beim Pferde intraepitheliale Nervenendigungen (Goldchlorid-Präparate), welche um den Porus der Schmeckbecher sowohl der Pap. fol. wie auch der circumv. ein dichtes Netz bilden. Auch unterhalb der Hornschicht des Epithels der Pap. fung. fand er ein ähnliches Nervennetz. Er fand keine Schmeckbecher in den Pap. fung. des Pferdes.

II. Begrenzung des Geschmacksorgans.

1. Methoden um die mit Geschmackssinn versehenen Theile zu ermitteln.

Um die geschmacksvermittelnden Stellen zu erforschen, kann man drei verschiedene Methoden anwenden:

1. Die am meisten angewendete Methode ist, dass man die einzelnen Mundtheile mit den verschiedenen schmeckbaren Substanzen betupft; wir werden dieselben bald etwas näher besprechen.

2. Neumann[2] benützte die elektrische Reizung um die gemacksvermittelnden Stellen zu erforschen. Er wendete Ströme an, welche die sensitiven Nerven nicht erregen. Die wohl isolirten Electroden endeten knopfförmig und deren Entfernung betrug nur ½ Linie. Sie wurden sehr sanft applicirt und hin und her bewegt, wodurch die Geschmacksempfindung deutlicher hervortritt. Es ge-

---

1 E. Sertoli, Osservazioni sulle terminazioni dei nervi del gusto. Gazzetta medico-veterinaria. IV. 2. Separatabdruck. Deutsch in Molesch. Unters. XI. 4. Hft. S. 403. 1874.

2 E. Neumann, Die Electricität als Mittel zur Untersuchung des Geschmackssinnes im gesunden und kranken Zustande und die Geschmacksfunction der Chorda tympani; Königsberger med. Jahrb. IV. S. 1—22. 1864. Es wurden benützt Henle und Meissner, Jahresbericht 1864. S. 552 und Canstatt's Jahresb. 1864. I. S. 213.

langte bloss die saure dem positiven Pole eigene Empfindung zur Beobachtung.

3. Sollte sich mit Sicherheit nachweisen lassen, dass die becherförmigen Organe die ausschliesslichen Endorgane der Geschmacksnerven sind, dann hätten wir in der Ermittlung ihres Vorkommens ein wichtiges anatomisches Mittel um die schmeckenden Stellen mit Genauigkeit zu bestimmen.

Die Anwendung der ersten Methode bietet einige Schwierigkeiten, die wir hier namhaft machen müssen.

a) Alle jene Stellen, welche Geschmacksempfindungen vermitteln, vermitteln auch gleichzeitig Gefühlsempfindungen. Wir haben schon früher (ob. S. 146) angegeben, wie man beide auseinander zu halten hat.

b) Viele Stoffe, welche den Geschmackssinn zu erregen scheinen, afficiren eigentlich den Geruchssinn, es dürfen desshalb nur geruchlose schmeckbare Substanzen angewendet werden; benützt man aber riechende Substanzen, dann ist jene Vorsicht zu beobachten, die wir oben (S. 146) erwähnten.

c) Die grosse Beweglichkeit der Zunge hat zur Folge, dass die an einer Stelle applicirte Substanz sehr leicht auf andere Stellen übertragen wird, wodurch äusserst leicht Täuschungen entstehen.

d) Die applicirte Substanz kann, obwohl die Zunge ruhig gehalten wird, entweder durch Capillarität oder durch Diffusion im Speichel auf benachbarte Stellen sich verbreiten.

e) Endlich ist es möglich, dass eine schmeckbare Substanz nicht an allen mit Geschmackssinn begabten Stellen die gleiche Geschmacksempfindung hervorruft.

Obwohl aus dem Gesagten von selbst sich die Vorsichten ergeben, welche man bei solchen Versuchen beobachten muss, wird es doch nicht überflüssig sein, ausser den bereits früher angeführten, Vorsichtsmaassregeln hier noch einige andere zu erwähnen.

Die am häufigsten angewendete Applicationsmethode besteht darin, dass man einen kleinen Pinsel oder ein Schwämmchen mit der schmeckbaren Substanz imprägnirt und damit die einzelnen Mundstellen betupft. Um die benachbarten Stellen von der Berührung mit der schmeckbaren Substanz auszuschliessen, hat man jene mit einer Membran bedeckt, eine Vorsicht, die ganz überflüssig ist, ja sogar nachtheilig sein kann.

Schmeckbare Substanzen in fester Form (Krystalle z. B.) werden auch in der Art angewendet, dass man Splitterchen auf die untersuchte Stelle auflegt.

Eine Methode, welche sich besonders zur Untersuchung der ei-

genen tieferen Mundtheile eignet, weil dadurch die Berührung der schmeckbaren Substanz mit anderen Stellen verhütet wird, besteht darin, dass die schmeckbare Substanz auf die eine Fingerfläche gelegt und mit derselben die zu untersuchende Stelle berührt wird.

Endlich wurde auch eine kurze schmale Röhre auf eine Zungenstelle applicirt und dieselbe mit der schmeckenden Flüssigkeit gefüllt.

Die Temperatur der angewendeten Substanzen darf weder zu hoch, noch zu niedrig sein.

Die Theile, auf welche die schmeckbare Substanz applicirt wird, dürfen nicht eher bewegt werden, als bis mittelst einfacher verabredeter Zeichen angegeben ist, ob und welche Geschmacksempfindung stattgefunden.

Die Versuche sollen nicht bloss mit einer, sondern mit mehreren Substanzen vorgenommen werden, ja es ist sogar nothwendig, dass der zu untersuchenden Person unbekannt sei, welche schmeckbare Substanz applicirt wird; es ist ferner auch erwünscht, dass einige Vexirversuche mit destillirtem Wasser eingeschoben werden.

Endlich beachte man auch, ob das verabredete Signal rasch oder sehr langsam gegeben wird; denn im ersten Falle kann man, vorausgesetzt, dass die Versuche richtig angestellt wurden, mit Sicherheit annehmen, dass die betupfte Stelle wirklich mit Geschmackssinn begabt ist; auch im zweiten Falle ist dies nicht ausgeschlossen, nur wird man dann mit seinem Urtheile vorsichtiger sein müssen.

2. *Theile, die mit Geschmackssinn versehen sind.*

Von den Lippen bis zum Magen giebt es keine Stelle, welcher nicht von einem oder dem anderen Physiologen Geschmacksfähigkeit zugeschrieben worden wäre. Horn[1] und später Klaatsch und Stich[2] haben die Literatur über diesen Gegenstand zusammengestellt.[3]

Um in einer gewissen Ordnung vorzugehen, werden wir mit den vordersten Theilen beginnen; wir sind aber auch genöthigt, nicht bloss

---

1 W. Horn, Ueber den Geschmackssinn des Menschen. Heidelberg 1825.

2 Dr. Klaatsch und Dr. A. Stich, Ueber den Ort der Geschmacksvermittlung. Arch. f. pathol. Anat. XIV. S. 225.

3 Ich führe wörtlich eine Angabe Daniels (Petrus Josephus Daniels Gustus organi novissime detecti Prodromus. Dissert. Moguntiae 1790) über die Verbreitung des Geschmackssinns an, weil dieselbe mit unseren gegenwärtigen Kenntnissen eine grosse Uebereinstimmung zeigt. S. 91 sagt er: linguae tantum apicem, margines et basim ejusdem saporum diversa irritamenta sentire, totum autem, quod reliquum est, oris cavum ad hunc sensum plane ineptum esse; und später S. 93 nach Anführung, dass ausser der Zunge auch anderen Mundtheilen Geschmacksfähigkeit zugeschrieben wurde, schreibt er: verum his experimenta cautius instituta contradicunt, quibus id evincitur ad linguae apicem tantum et margines ejusdemque basin deinde ad molle palatum, velumque palati pendulum sapores percipi.

die positiven, sondern auch in einigen Fällen die negativen Resultate mitzutheilen.

Die Lippen, das Zahnfleisch (innerlich und äusserlich), der Boden der Mundhöhle, die Schleimhaut der Wangen werden übereinstimmend von den neueren Physiologen als nicht schmeckend angesehen. Nur Urbantschitsch[1] S. 9 und 10 sagt, dass die Geschmacksfähigkeit der Wangenschleimhaut im Kindesalter keineswegs selten ist. Bei 50 erwachsenen Individuen konnte Urbantschitsch an der Wangenschleimhaut keinen Geschmack finden.

Untere Fläche der Zunge. Vernières[2] und Valentin[3] haben der Unterfläche der Zunge Geschmack zugeschrieben, aber schon Guyot und Admyrauld[4] später Klaatsch u. Stich (cit. S. 155) haben diese Angaben in soweit beschränkt, als letztere anführen, der schmeckende Saum nähere sich nur selten der Unterfläche der Zunge. Drielsma[5] berichtet, dass er an der Spitze der Unterfläche der Zunge manchmal keinen Geschmack fand, während Urbantschitsch (l. c.) die untere Zungenfläche zu beiden Seiten des frenulum zu jenen Theilen zählt, welche Geschmack vermitteln können.

Obere Fläche der Zungenspitze. Wagner[6], Funke[7] sprechen der Zungenspitze den Geschmack ab, Valentin (l. c.) sagt, dass der mittlere und vordere Theil des Zungenrückens keine wahre Geschmacksempfindung vermittle. Inzani und Lussana[8] theilen mit, dass sie mit der Zungenspitze das Bittere nicht empfinden können; sie bemerken aber ausdrücklich, dass die Unempfindlichkeit des vorderen Theiles der Zunge für bittere Geschmäcke nicht bei allen Individuen constant und gleich ist. Nach Schiff[9] soll die Zungenspitze das Bittere nur unvollkommen, das Saure dagegen gut schmecken. Drielsma (l. c.) fand, dass der Geschmack an der Zungenspitze wohl oft erkannt, manchmal aber auch entweder Nichts oder anfangs ein fremdartiger, dann der richtige Geschmack

---

1 Dr. V. Urbantschitsch, Beobachtungen über Anomalien des Geschmacks, der Tastempfindungen und der Speichelsecretion in Folge von Erkrankungen der Paukenhöhle. Stuttgart 1876.

2 Vernières Physiologische Untersuchungen über den Sinn des Geschmacks. Froriep's neue Not. Nr. 423 (XX. Nr. 5) und Nr. 424 (XX. Nr. 6) März 1828; entnommen aus Répertoire d'Anatomie et de Physiologie par M. Breschet. IV. (3 Trim. de 1827) S. 39.

3 G. Valentin, De functionibus nervorum cerebralium et nervi sympathici libri quattuor. Bernae et Sangalli Helvetiorum 1839. Derselbe, Lehrbuch der Physiologie des Menschen für Aerzte und Studirende. II. 2. Aufl. 2. Abth. Braunschweig 1848.

4 Guyot u. Admyrauld, Ueber den Sitz des Geschmackssinnes beim Menschen, Froriep's neue Not. Nr. 581. (XXVII. Nr. 9) April 1830.

5 A. Drielsma, Onderzoek over den zetel van het smaakzintnig. Diss. Groningen 1859. Auszug in Henle u. Meissner, Bericht über die Fortschritte der Anat. u. Phys. 1858. S. 640 und Canstatt's Jahresb. 1859. I. S. 89.

6 R. Wagner, Lehrbuch der speciellen Physiologie. 3. Aufl. Leipzig 1845. Derselbe, Bestätigung des Panizza'schen Lehrsatzes, dass das neunte Nervenpaar (n. glosso-pharyngeus) der Geschmacksnerve ist. Froriep's neue Not. Nr. 75. (IV. Nr. 9) Nov. 1837. S. 128.

7 O. Funke, Lehrbuch der Physiologie. II. 3. Aufl. Leipzig 1860.

8 G. Jnzani e F. Lussana, Sui nervi del gusto. Annali universali di medicina. CLXXXI. Agosto 1862. Die mir vorliegende Schrift ist ein Separatabdruck.

9 Schiff, Leçons sur la Physiologie de la digestion. I. Florence et Turin 1867.

angegeben wurde. Bei mir selbst[1] fand ich, dass ich mit meiner Zungenspitze das Saure ganz gut, etwas weniger das Süsse, bedeutend weniger das Salzige und fast gar nicht das Bittere erkennen kann.

Alle übrigen Physiologen Vernières (cit. S. 156) Guyot und Admyrauld (cit. S. 156), Klaatsch und Stich (cit. S. 155), Camerer[2], Elsässer (cit. S. 147), Kornfeld[3], Schirmer[4], Budge[5] und Neumann (cit. S. 153) schreiben der Zungenspitze Geschmack zu. Die Angaben von Neumann beziehen sich aber bloss auf den sauren Geschmack, welcher entsteht, wenn man die Zungenspitze mit der Elektricität reizt. Urbantschitsch (cit. S. 156) muss, obwohl er die Zungenspitze nicht ausdrücklich erwähnt, doch zu denjenigen gezählt werden, welche der Zungenspitze einen ausgezeichneten Geschmack zuschreiben, da er den ganzen Zungenrand als mit solchem begabt ansieht.

Diese Angaben zeigen uns sehr deutlich, dass die Geschmacksfähigkeit der Zungenspitze bei vielen Personen sehr ausgesprochen ist, dass aber dieselbe bei anderen nur im geringen Grade und nur für gewisse Geschmäcke vorhanden ist, und bei wieder anderen vollständig fehlt.

Zungenränder. Elsässer (cit. S. 147) schreibt den Zungenrändern eine geringere Geschmacksfähigkeit zu als der Zungenspitze. Drielsma (cit. S. 156) fand, dass manchmal kein oder ein anderer Geschmack angegeben wurde, oder die Empfindung erst spät entstand. Die Ränder meiner Zunge besitzen keine Geschmacksfähigkeit.

Vernières (l. c.), Guyot und Admyrauld (l. c.), Guyot[6], Budge (l. c.), Schirmer (l. c.), Klaatsch und Stich (l. c.), Neumann (l. c.), Urbantschitsch (l. c.), schreiben den Zungenrändern Geschmack zu.

Zuerst Guyot und Admyrauld (l. c.) später Klaatsch und Stich (l. c.) fanden, dass der Zungenrand in einer Breite von zwei bis vier Linien Geschmack vermittelt, und Neumann (l. c.) gibt an, dass die Breite des schmeckenden Saumes an der Spitze und an den Rändern mehrere Linien beträgt, und dass dieser Saum zum grösseren Theil nach oben hinübergreift.

Zungenmitte. Nach den übereinstimmenden Angaben der meisten Physiologen entbehrt dieser Theil des Geschmackssinnes. Unter den neueren Beobachtern ist Urbantschitsch (l. c.) derjenige, welcher der ganzen Zungenoberfläche Geschmacksvermögen vindicirt. Auch Longet[7] S. 55

---

1 M. v. Vintschgau, Beiträge zur Physiologie des Geschmackssinnes. I. Th. Arch. f. d. ges. Physiol. XIX.

2 Dr. Camerer, Ueber die Abhängigkeit d. Geschmackssinnes von der gereizten Stelle der Mundhöhle. Ztschr. f. Biologie VI. S. 440. 1870.

3 J. Kornfeld, De functionibus nervorum linguae experimenta. Diss. inaug. Berolini 1836.

4 R. Schirmer, Einiges zur Physiologie des Geschmacks. Deutsche Klinik 1859. XI. Nr. 13. 15. 18. Derselbe, Nonnullae de gustu disquisitiones. Diss. inaug. Gryphiae 1856.

5 Budge, Ueber geschmacksempfindende Stellen. Deutsche Klinik 1859. XI. Nr. 19.

6 Jules Guyot, Nouvelles expériences sur le sens du goût chez l'homme, suivies d'un examen succinct de travaux principaux publiés recemment sur le même sujet. Archives générales de Médecine Journal complementaire des sciences medicales II. serie. XIII. Paris 1837.

7 Longet, Traité de Physiologie. Troisième édition III. Paris 1869.

und 496 schreibt der Zungenmitte Geschmack zu, bemerkt aber ausdrücklich, dass die Empfindung langsam zu Stande kommt.

Gegend der Papillae circumvallatae und der Papilla foliata. Dass diese Gegend mit ausgezeichnetem Geschmacke versehen sei, wird von allen Autoren übereinstimmend angenommen und dieselbe von vielen, und mit Recht, als der Hauptsitz des Geschmackssinnes angesehen. Ein Zweifel könnte höchstens für die Papilla foliata entstehen, da an derselben von den neueren Forschern keine Versuche vorgenommen wurden. Wenn man aber überlegt, dass an der Papilla foliata die Schmeckbecher ebenso wie in den Papillae circumvallatae vorkommen, und dieselben nach Durchschneidung des N. glosso-pharyngeus ebenso wie in den Papillae circumvallatae verschwinden [Vintschgau und Hönigschmied (cit. S. 146)], wird man kaum mehr an der Geschmacksfähigkeit der Papilla foliata zweifeln, und dies um so weniger wenn man erfährt, dass Elsässer [1834 (cit. S. 147) S. 354] diese Stelle prüfte und mit Geschmack versehen fand.

Zungenwurzel. Es ist ziemlich schwer zu beurtheilen, ob die Autoren an dieser Stelle der Zunge Geschmack fanden oder nicht, da man meistens die Zungenwurzel von der Gegend der Pap. circumvallatae nicht getrennt hat; jedenfalls sind die positiven Angaben höchst spärlich und wir möchten hier bloss jene von Vernières (cit. S. 156) und von Valentin (De functionibus etc. cit. S. 156) anführen.

Harter Gaumen. Aeltere Physiologen hatten wohl demselben Geschmack zugeschrieben, nachdem aber Vernières (l. c.) Guyot und Admyrauld (cit. S. 156) und Guyot (cit. S. 157) sich entschieden dagegen ausgesprochen hatten, und die negativen Resultate dieser von vielen anderen Physiologen bestätigt wurden, hat man von der Geschmacksfähigkeit des harten Gaumens nicht mehr gesprochen; nur Drielsma (cit. S. 156) hat eine Anzahl besonderer Versuche angestellt, welche meist ein positives Resultat und für keine der geprüften Substanzen etwa eine constante Ausnahme ergaben. Auch Urbantschitsch (cit. S. 156) zählt den harten Gaumen zu den Theilen, die Geschmack vermitteln S. 43; und S. 10 sagt er, dass die Geschmacksfähigkeit am harten Gaumen bei Kindern viel häufiger als bei Erwachsenen ist.

Weicher Gaumen und Zäpfchen. Die Ansichten der Physiologen über das Geschmacksvermögen der angeführten Theile sind sehr verschieden und diese Verschiedenheit bezieht sich nicht bloss auf die Frage, ob der weiche Gaumen und die Uvula Geschmack besitzen, sondern auch auf die grössere und geringere Ausbreitung desselben. Horn (cit. S. 155), Vernières (l. c.) haben dem Gaumensegel Geschmack zugeschrieben, ja letzterer nahm sogar an, dass auch die hintere Fläche desselben schmecke. Schirmer (cit. S. 157) S. 157 tritt dieser Angabe Vernières entschieden entgegen. Tourtual[1] hatte ebenfalls der hinteren Fläche des herabhängenden Gaumens Geschmacksvermögen zugeschrieben; Bidder[2] überzeugte sich aber bei einem Kranken, dass dies nicht der Fall ist.

1 Tourtual, Die Sinne des Menschen in den wechselseitigen Beziehungen ihres psychischen und organischen Lebens. Münster 1827.

2 Bidder, Neue Beobachtungen üb. die Bewegungen des weichen Gaumens und über den Geruchssinn. Dorpat 1838.

Die Versuche endlich von Weber[1] und von Valentin (Lehrb. etc. cit. S. 156) haben bewiesen, dass der hintere obere Theil des weichen Gaumens nicht schmeckt. Guyot und Admyrauld (cit. S. 156) schreiben bloss einem kleinen Theil der vorderen Fläche des Gaumensegels Geschmacksfähigkeit zu. Dieselbe soll etwa eine Linie unter dessen Anfügung an das Gaumengewölbe beginnen, 3 bis 4 Linien vor der Basis des Zäpfchens aufhören, und seitwärts sich allmählich verlaufen. Valentin (cit. S. 156) fand unter 8 untersuchten Individuen bei 2 sehr deutliches, bei 4 undeutliches und bei 2 kein Geschmacksvermögen an der vorderen Fläche des weichen Gaumens und der Uvula und daran knüpft Valentin die Bemerkung, dass die Mehrzahl der Versuchsergebnisse eher gegen als für die Sinnesthätigkeit dieser Theile spreche. Rapp (cit. S. 147), J. Müller[2], Dugès[3], Budge (cit. S. 157), Drielsma (cit. S. 156) schreiben den genannten Theile Geschmacksfähigkeit zu. Longet[4] sagt, dass das Zäpfchen nie das geringste Geschmacksvermögen zeige; dem weichen Gaumen fehle, wie er an sich selbst constatirt habe, der Geschmack; zuweilen sei er an der Mittellinie deutlich vorhanden. Nach Schiff (cit. S. 156) werden manchmal die Geschmäcke auch vom weichen Gaumen empfunden. Neumann (cit. S. 153) fand die vordere Fläche des weichen Gaumens mit Ausnahme des Zäpfchens mit Geschmacksfähigkeit versehen. Nach Schirmer (cit. S. 157) vermittelt jener Streif des weichen Gaumens, der dem harten Gaumen zunächst liegt, Geschmacksempfindungen. Nach Klaatsch und Stich (cit. S. 155) besitzt der weiche Gaumen Geschmacksvermögen, dasselbe fehle aber dem hinteren Saume desselben und dem Zäpfchen. Urbantschitsch (cit. S. 156) betrachtet die Uvula und den weichen Gaumen als geschmackvermittelnde Stellen.

Eine Reihe Forscher Wagner (cit. S. 156), Funke (cit. S. 156), Elsässer (cit. S. 147), Picht (cit. S. 146), Camerer (cit. S. 157), Bidder (cit. S. 158) sprechen dem weichen Gaumen und der Uvula jede Geschmacksfähigkeit ab.

Wenn wir diese verschiedenen Angaben berücksichtigen, sind wir veranlasst zu behaupten, dass das Geschmacksvermögen der vorderen Fläche des weichen Gaumens und der Uvula denselben individuellen Verschiedenheiten unterworfen ist, wie wir eine solche an der Zungenspitze finden.

Den Ergebnissen der Versuche entsprechen auch die Angaben über das Vorkommen von Schmeckbechern (siehe oben S. 149 u. f.) und über die Geschmacksnerven am weichen Gaumen (siehe später S. 178).

Die Gaumenpfeiler (Arcus glosso-palatinus et glosso-pharyngeus). Auch über die Geschmacksfähigkeit dieser beiden Pfeiler finden wir getheilte Meinungen. Vernières (cit. S. 156), Longet (l. c.) schreiben den Pfeilern des Gaumensegels Geschmack zu; Valentin (cit. S. 156) fand den oberen Zusammenfluss und die untere Verlängerung der beiden Gau-

---

1 E. H. Weber, Ueber den Einfluss der Erwärmung und Erkältung der Nerven auf ihr Leitungsvermögen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1847.

2 J. Müller, Handbuch der Physiologie des Menschen. II. Coblenz 1837.

3 A. Dugès, Traité de Physiologie comparée de l'homme et des animaux. I. Montpellier 1838.

4 Longet, Anatomie und Physiologie des Nervensystems etc. Deutsche Uebersetzung von Dr. J. A. Hein. II. Leipzig 1849. Derselbe, Traité de Physiologie 3. Ed. III. Paris 1869.

menbogen immer, die vordere Fläche des hinteren fast immer, die vordere Fläche des vorderen Gaumenbogens selten mit Geschmack versehen. Nach Schiff (cit. S. 156) besitzen die vorderen Pfeiler manchmal Geschmack. Schirmer (cit. S. 157) und Neumann (cit. S. 153) fanden besonders den unteren Theil des arcus glosso-palatinus mit Geschmack begabt; Urbantschitsch (cit. S. 156) schreibt dem arcus glosso-platinus Geschmack zu.

Wir besitzen aber auch eine Reihe Beobachtungen, welche den Pfeilern jeden Geschmack absprechen, so Guyot und Admyrauld (cit. S. 156), Wagner (cit. S. 156), Funke (cit. S. 156), Camerer (cit. S. 157), Klaatsch und Stich (cit. S. 155).

Wir glauben vor der Hand den negativen Angaben mehr Werth beilegen zu müssen als den positiven, da der Verdacht nicht ausgeschlossen werden kann, dass die schmeckende Substanz längs der Schleimhaut herabgeflossen sei und mit der Zunge in Berührung kam. Dieser Verdacht gilt vorzugsweise für alle jene Beobachtungen, aus welchen hervorgehen soll, dass der untere Theil des arcus glosso-palatinus Geschmacksvermögen besitze. Dieser Verdacht gilt aber nicht für die Versuche von Neumann, da er schwache electrische Ströme anwendete. (Vergleiche auch oben S. 149 über das Vorkommen von Schmeckbechern.)

Mandeln. Aeltere Beobachter hatten auch ihnen Geschmacksfähigkeit zugeschrieben; es verdienen von denselben bloss die Beobachtungen Luchtmann's[1] erwähnt zu werden, weil er ausdrücklich sagt, er habe vermieden, dass die schmeckenden Substanzen mit der Zunge in Berührung kamen. Von neueren haben bloss Vernières (cit. S. 156) und Valentin (cit. S. 156) den Mandeln Geschmack zugeschrieben.

Hintere Wand der Pharynxhöhle. Vernières (l. c.) Valentin (l. c.) haben derselben Geschmacksfähigkeit zugetheilt, und in neuester Zeit hat Urbantschitsch (l. c.) sich dieser Ansicht angeschlossen. Nach Valentin (Lehrbuch etc. cit. S. 156) ist jedoch nur jener Theil der hinteren Pharynxwand, welcher der Zungenwurzel gegenüber liegt, mit Geschmack versehen.

Kehldeckel. Valentin (cit. S. 156) sprach auch der Umgebung des Kehldeckels Geschmack zu. Am Kehldeckel selbst sind Schmeckbecher entdeckt worden (siehe oben S. 150).

Aeltere Physiologen schrieben auch dem Oesophagus und der Trachea Geschmack zu. Es ist kaum denkbar, dass der Oesophagus mit Geschmacksorganen versehen sei; die Beobachtungen von Klaatsch und Stich (l. c.) an zwei Kranken haben direkt bewiesen, dass die Trachea nicht schmeckt.

Aus dem Mitgetheilten ersieht man, dass die Gegend der papillae circumvallatae und der papilla foliata von Allen als geschmacksfähig bezeichnet wird, und wir müssen dieselbe als den Hauptsitz des Geschmacksorgans betrachten. Die Zungenränder und die Zungenspitze haben wohl bei vielen Menschen Geschmacksfähigkeit, es kommen aber mehrere individuelle Verschiedenheiten

---

1 Petrus Luchtmann's Specimen physico-medicum inaugurale de saporibus et gustu. Lugduni Batavorum 1758.

vor in der Art, dass die genannten Theile bald entschieden und gut alle Geschmäcke, bald einige Geschmäcke, so vorzugsweise das Bittere, nur schwer oder gar nicht, bald wieder gar keinen Geschmack wahrnehmen können, ausserdem findet man, dass manchmal die Zungenränder gar keinen, die Zungenspitze nur einige Geschmäcke erkennt. — Die vordere Fläche des Gaumensegels wird in einer grösseren oder kleineren Ausdehnung von vielen als geschmacksfähig bezeichnet, es existiren aber gewiss viele individuelle Verschiedenheiten. — Die vorderen Gaumenbögen scheinen ebenfalls mit Geschmacksvermögen dotirt zu sein, es ist aber wieder höchst wahrscheinlich, dass individuelle Verschiedenheiten existiren. — Alle übrigen Stellen der Mundhöhle und der Pharynxhöhle haben entweder ganz sicher gar kein Geschmacksvermögen oder wenn ein solches vorkommt, so ist dasselbe gewiss nur bei wenigen Individuen und in sehr verschiedener Ausdehnung vorhanden.

Mit dieser Zusammenstellung erledigt sich auch die Frage, die von mehreren Physiologen, Guyot (cit. S. 157), Valentin (cit. S. 156), Schirmer (cit. S. 157), Drielsma (cit. S. 156), Neumann (cit. S. 153) aufgeworfen wurde, wie nämlich die Gegenden nach der Grösse der Geschmacksfähigkeit zu ordnen seien.

Es ist endlich zu bemerken, dass nach den Beobachtungen von Camerer (cit. S. 157) und Wilczynsky [1] nur jene Stellen der Zunge, an welchen die Pap. fungiformes und Papillae circumvallatae vorkommen, schmecken. Diese Beobachtungen stehen auch mit denen über das Vorkommen der Schmeckbecher im Einklange, nur muss noch die Papilla foliata dazu gezählt werden.

III. Die Geschmacksnerven.

1. Methoden zur Ermittelung der Geschmacksnerven.

Die Physiologen haben sich sehr oft mit der Frage beschäftigt, welcher oder welche Nerven für den Geschmack bestimmt sind. — Auf zweifache Art hat man diese Frage zu lösen getrachtet: 1) durch Versuche an Thieren, 2) durch Beobachtungen am Krankenbette.

Die Versuche an Thieren lassen sich in dreifacher Weise benützen um die eben erwähnte Frage zu erledigen: a) Man hat die

1 K. Wilczynski, Mit welchen Theilen der Mundhöhle und speciell der Zunge können wir den Geschmack einiger Substanzen erkennen? Krakauer ärztliche Uebersicht 1875. No. 7 u. 8 (Polnisch) aus Fr. Hofmann und G. Schwalbe's Jahresb. üb. d. Fortschritte der Anat. und Phys. IV. 3. Abth. S. 137. 1875.

Nerven durchschnitten, welche möglicherweise die Geschmackseindrücke zum Gehirn leiten, und untersuchte dann ob die Thiere noch die Geschmäcke wahrnahmen. b) Die Nerven, welche für den Geschmackssinn in Betracht kommen können, wurden durchschnitten, nach einigen Tagen die Thiere getödtet, und nun die einzelnen peripheren Zweige mikroskopisch untersucht, um zu sehen, in welchen degenerirte Fasern vorkamen. c) Statt die peripheren Aeste auf degenerirte Nervenfasern zu untersuchen, kann man auch jene Stellen, in welchen Schmeckbecher vorkommen, untersuchen, um zu sehen, ob dieselben eine Veränderung erlitten haben. Letzte Methode ist bis jetzt nur einmal angewendet worden.

Die erste Methode bietet aber einige Schwierigkeiten, die wir namhaft machen wollen: Die erste Schwierigkeit liegt in der Operation selbst; einige Nerven sind verhältnissmässig leicht zugänglich (z. B. truncus tympanico-lingualis des Lingualis, Glosso-pharyngeus etc.) und die Thiere vertragen deren Durchschneidung sehr gut; andere (Trigeminus in der Schädelhöhle, Ganglion sphenopalatinum u. d. m.) dagegen können nur mit einer tief eingreifenden Operation erreicht werden, obwohl die Thiere auch eine solche Operation mehrere Tage, ja auch mehrere Wochen zu überleben vermögen. In beiden Fällen ist es rathsam die Geschmacksfähigkeit der Zunge erst einige Zeit nach Vollendung der Operation zu prüfen, da unmittelbar nach derselben die Thiere kaum Lust haben können auf so schwache Reize, wie die Geschmackseindrücke im Allgemeinen sind, zu antworten; es darf aber auch nicht vergessen werden, dass die Durchschneidung mancher Nerven (Trigeminus, Lingualis) solche Veränderungen in der Zunge erzeugt, dass wohl die Frage nahe liegt, ob der Verlust des Geschmackes ein primärer oder nicht vielleicht ein sekundärer ist, nämlich eine Folge der eingetretenen Veränderungen der Zungenschleimhaut.

Die zweite Schwierigkeit, welche vielleicht noch mehr ins Gewicht fällt als die erste ist die Art und Weise, wie man den Geschmack prüft. — Es hat schon bei Menschen eine gewisse Schwierigkeit den Geschmackssinn an solchen Stellen zu prüfen, an welchen derselbe nur schwach entwickelt ist, um so mehr ist dies der Fall bei Thieren, da wir hier nur die sehr trügerischen Zeichen von Behagen und Unbehagen haben, die die Thiere geben können. Unser Urtheil gewinnt aber an Sicherheit, wenn dasselbe Thier nach der Operation Substanzen geniesst, welche es vor derselben beharrlich verschmäht hat. — Die Wahl der Thiere ist ebenfalls von grosser Bedeutung; es gibt bekanntlich Hunde, welche so gefrässig sind, dass sie auch in unversehrtem Zustande die ekelhaftesten Dinge fressen. — Eben

so wichtig ist die Wahl der schmeckbaren Substanz; es dürfen nur solche angewendet werden, welche weder durch ihren Geruch, noch durch ihre Farbe, noch durch eine fremdartige Gefühlsempfindung kenntlich sein könnten. Man wählt fast ausschliesslich bittere Substanzen, und nur hie und da wurden auch saure angewendet.

Alle diese Schwierigkeiten treten in noch erhöhtem Maassstab hervor, wenn man bei Thieren das Geschmacksvermögen einer begrenzten Zungenpartie durch einfache Betupfung mit der schmeckbaren Substanz prüft. Abgerichtete Thiere lassen sich dazu am besten verwenden; jedenfalls muss man mit der grössten Sorgfalt darauf achten, dass die nach der Application vom Thier ausgeführten Bewegungen nicht als Folge des Geschmackseindruckes gedeutet werden, während sie vielleicht von irgend einer anderen Ursache veranlasst wurden; desshalb haben auch einige Physiologen die Zunge nicht bloss mit schmeckbaren Substanzen, sondern auch dazwischen mit reinem Wasser betupft, um zu sehen, ob die Thiere (Hunde) auch darauf reagirten. — Einige Physiologen haben, um diesen Schwierigkeiten bei der begrenzten Betupfung mit einer schmeckbaren Substanz auszuweichen, die Methode in der Art modificirt, dass sie auf eine stattgefundene Erregung der Geschmacksnerven schlossen, wenn auf dem Wege des Reflexes eine vermehrte Speichelsecretion stattfand.

Die zweite Art, die Frage der Geschmacksnerven zu untersuchen, beruht auf der Beobachtung am Krankenbett. Es kann nicht geleugnet werden, dass solche Beobachtungen von der grössten Bedeutung und sogar in einigen Fällen von grösserem Werthe als die Versuche an Thieren sind, wenn dieselben mit Umsicht, mit Genauigkeit und mit Sorgfalt vorgenommen werden. Nicht bloss die Geschmacksfähigkeit der verschiedenen Zungenpartien für die verschiedenen Geschmäcke muss genau untersucht werden, sondern es müssen auch alle Symptome, welche der Kranke zeigt, genau ermittelt werden, damit man mit Sicherheit diagnosticiren könne, welcher oder welche Nerven, und an welchen Stellen dieselben erkrankt sind. Die nie zu unterlassende Nekroscopie muss mit der grössten Sorgfalt vorgenommen werden. Genaue Krankenbeobachtungen werden dann nicht bloss die Versuche an Thieren controlliren, sondern auch dazu dienen, dem Physiologen einen Fingerzeig zu geben, nach welcher Richtung er neuere Versuche vornehmen soll. Nach diesen, unserem Erachten nach, unumgänglichen Vorbemerkungen wollen wir die Frage der Geschmacksnerven näher untersuchen.

2. *Ermittelung der Geschmacksnerven.*

Bei der Behandlung der Geschmacksnerven kommt der N. hypoglossus nicht in Betracht, da derselbe bloss für die Bewegungen der Zunge bestimmt ist.

Die zwei hauptsächlichen Nerven die wir zu berücksichtigen haben sind der N. glosso-pharyngeus und der Trigeminus.

Panizza (1834), der berühmte Anatom an der Universität Pavia, hat durch seine Untersuchungen[1] die neue Aera in der Kenntniss über die Function der verschiedenen Zungennerven (Hypoglossus, Glossopharyngeus und Lingualis) eröffnet. Panizza durchschnitt nach einander die drei Nerven, die sich zur Zunge begeben, und untersuchte hierauf das Verhalten der Empfindlichkeit, Beweglichkeit und Geschmacksfähigkeit dieses Organs. Panizza hat aus seinen Versuchen den Schluss gezogen, dass der N. hypoglossus ausschliesslich den Bewegungen, der vom Trigeminus stammende Lingualis bloss dem Gefühl und der N. glosso-pharyngeus dem Geschmackssinn der Zunge vorstehen.

Diese wichtige Arbeit von Panizza fand gleich nach ihrem Erscheinen mehrfachen Widerspruch. Der erste, welcher sich entschieden gegen die Ansicht Panizza's aussprach, war J. Müller[2], der an verschiedenen Orten und bei verschiedenen Gelegenheiten gegen die Angaben Panizza's bezüglich der Function des Glosso-pharyngeus sich aussprach.

Zwei Jahre (1836) nach Veröffentlichung der Schrift von Panizza erschien die Dissertation von Kornfeld (cit. S. 157) und da die Versuche unter der Leitung von J. Müller und Gurlt angestellt worden sind, so können wir annehmen, dass dieser Schrift die Ansichten des erstgenannten Physiologen zu Grunde liegen. Aus den angestellten Versuchen wird der Schluss gezogen, dass der N. glossopharyngeus entweder keine oder nur eine sehr geringe Bedeutung für die Wahrnehmung der Geschmäcke besitze, der Lingualis sei dagegen der Geschmacksnerv; da aber auch dem weichen Gaumen Geschmacksfähigkeit vindicirt wurde, und der Lingualis sich bloss in

---

1 B. Panizza, Ricerche sperimentali sopra i nervi. Lettera al Prof. Maurizio Buffalini. Pavia 1834. Da weder die italienische Originalabhandlung noch deren deutsche Uebersetzung zu erhalten war, so benützte ich folgende Auszüge: Froriep's neue Not. Nr. 945. S. 321—328. März 1835; Arch. f. Anat. u. Physiol. 1835, Bericht über die Fortschritte etc. im J. 1834. S. 136—139; Schmidt's Jahrb. 1836. IX. S. 368; Annali universali di Milano. LXXII. S. 468. 1834.

2 J. Müller, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1835, Bericht über die Fortschritte etc. im Jahre 1834. S. 136—139. Derselbe, Historisch-anatomische Bemerkungen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1837. Derselbe, Handbuch der Physiologie des Menschen. II. Coblenz 1837. Derselbe, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1848, Anmerkung zur Abhandlung von Stannius, siehe später S. 166.

der Zunge verbreitet, so nimmt KORNFELD an, dass auch der N. pterygo-palatinus Geschmacksnerv sei.

Wir wollen hier noch hinzufügen, dass J. MÜLLER den Glosso-pharyngeus zu den gemischten Nerven zählt (sensitiv und motorisch), aus dem Grunde weil nur ein Theil seiner Fasern in das Ggl. Ehrenritter eintritt, und weil bei Zerrung desselben Bewegungen im Schlunde entstehen. Es ist hier nicht der Ort auf die Frage der motorischen Fasern des glosso-pharyngeus einzugehen, wir beschäftigen uns bloss mit den Geschmacksnerven.

Es scheint aber, dass auch J. MÜLLER schliesslich dem glossopharyngeus wenigstens einen kleinen Antheil an der Geschmacksperception zuschrieb, da er (Handbuch etc. cit. S. 164) S. 491 wohl den Lingualis als den Hauptgeschmacksnerv der Zunge betrachtet, es jedoch nicht für erwiesen hält, dass der N. glosso-pharyngeus ohne Antheil an der Geschmacksperception des hinteren Theiles der Zunge uud der fauces sei.

Dass J. MÜLLER besonders anfangs so entschieden gegen PANIZZA auftrat, ist leicht zu erklären, wenn man bedenkt, dass vor diesem FODÉRA[1], MAJO[2] und vor Allem MAGENDIE[3] durch Versuche bewiesen zu haben glaubten, dass der Lingualis Geschmacksnerv sei.

MAGENDIE[4] hat auch nach Veröffentlichung der Schriften von PANIZZA immer die Ansicht vertheidigt, dass der Trigeminus der Geschmacksnerv sei. Wir werden nur bemerken, dass MAGENDIE in seiner ersten Arbeit de l'influence etc. mit dem Datum April 1824 mittheilt, dass wenn beide Trigeminusstämme durchschnitten sind, die schmeckbaren Substanzen an der Zungenspitze nicht, wohl aber in der Mitte und am Grunde der Zunge erkannt werden; MAGENDIE hat jedoch aus diesem Versuche den naheliegenden richtigen Schluss nicht gezogen.[5]

---

1 FODÉRA, Recherches expérimentales sur le système nerveux, presentées à l'Académie des sciences le 31. décembre 1822. Extrait. Magendie's Journ. d. physiol. expér. et pathol. III. p. 191—217. 1823.

2 HERBERT MAYO, Note sur les nerfs cérébraux, considérés dans leur rapport avec le sentiment et le mouvement volontaire. Magendie's Journ. de physiol. expér. et pathol. III. p. 345—361. 1823. In einer Note wird angegeben: Ce memoire est extrait d'un ouvrage très-interessant sur l'anatomie et la physiologie publié à Londres à des époques indèterminées par M. H. MAYO (Voyez Anatomical and physiological commentaries London 1823).

3 MAGENDIE, De l'influence de la cinquième paire de nerfs sur la nutrition et les fonctions de l'oeil. Journ. de physiol. expér. et pathol. IV. 1824. Derselbe, Suite des expériences sur les fonctions de la cinquième paire de nerfs. Lue à l'Acad. des sciences le 3. nov. 1824. Journ. de physiol. expér. et pathol. IV. 1824. Derselbe, Lehrbuch der Physiologie, aus dem Französischen übersetzt mit Anmerkungen u. Zusätzen von Dr. C. L. ELSÄSSER. I. 3. Aufl. Tübingen 1834.

4 MAGENDIE, Vorlesungen über das Nervensystem und seine Krankheiten, übersetzt von Dr. GUSTAV KRUPP. Leipzig 1841.

5 RAPP (cit. S. 147) betrachtet sowohl den Glosso-pharyngeus als auch den Zungenast des Quintus als Geschmacksnerven, und stützt sich bezüglich der Geschmacksfähigkeit des Glosso-pharyngeus unter anderen auf den Versuch von MAGENDIE.

Wir finden aber auch Physiologen, welche ihre Stimme zu Gunsten PANIZZA's Ansicht erhoben haben; so HALL und BROUGHTON[1], WAGNER (Bestätigung etc. cit. S. 156), welcher aber einige Jahre später [(Lehrbuch etc. cit. S. 156), S. 499] auch dem Trigeminus einen Antheil an der Vermittlung von Geschmacksempfindungen zuschrieb, und besonders VALENTIN[2], welcher die Versuche PANIZZA's wiederholte und bestätigte. VALENTIN hält auch in seiner letzten Schrift[3] an der Ansicht fest, dass der Glosso-pharyngeus der einzige Geschmacksnerv sei. BIDDER[4] hielt es für sehr wahrscheinlich, dass der Glosso-pharyngeus die specifischen Geschmacksfasern beherberge. STANNIUS (1848)[5], welcher seine Versuche an jungen Katzen vornahm, und als Geschmacksubstanz Chinin in Milch anwendete, bestätigte die Resultate PANIZZA's und VALENTIN's.

Nach dieser Arbeit von STANNIUS hat kein Physiologe mehr gezweifelt, dass der Glosso-pharyngeus Geschmacksfasern enthalte, jetzt ist sogar sichergestellt, dass derselbe die Papillae circumvallatae und die Papillae foliatae mit seinen Fasern versehe und in den Schmeckbechern dieser Theile endige. Es geht dies aus jenen Versuchen hervor, die ich mit HÖNIGSCHMIED (cit. S. 146) veröffentlicht habe, und durch welche der Nachweis geliefert wurde, dass nach Durchschneidung des Glosso-pharyngeus bei Kaninchen die Schmeckbecher der genannten Papillen vollständig verschwinden. Ueber den histologischen Zusammenhang der Nerven mit den Schmeckkolben siehe oben S. 152 und folg.

Die anatomischen und physiologischen Beobachtungen beweisen somit, dass der Glosso-pharyngeus der Geschmacksnerv für die genannten Gegenden der Zunge ist.

Es ist aber auch nöthig zu untersuchen, welcher Nerv den übrigen mit Geschmack versehenen Theilen die Geschmacksfasern liefert.

Sehr bald nach der Veröffentlichung der Arbeit von PANIZZA tauchte die Ansicht auf, dass sowohl der Glosso-pharyngeus als auch

---

1 M. HALL, Fourth Report of British Scientific Association and MR. BROUGHTON Edinburgh Medical and Surgical Journal XIV; citirt nach JOHN REID in R. B. Todd Cyclopaedia of Anatomy and Physiology. II. p. 498. London 1836—1839.

2 VALENTIN, Repertorium für Anatomie und Physiologie. II. Bern u. St. Gallen 1837. Derselbe (cit. S. 156).

3 VALENTIN, Versuch einer physiol. Pathol. d. Nerven. Leipz. u. Heidelb. 1864.

4 BIDDER, Schmecken in R. WAGNER's Handwörterbuch der Physiologie. III. 1. Abth. 1846.

5 STANNIUS, Versuche über die Function der Zungennerven. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1848. S. 132—138 und Dr. FR. UTERHART, De functionibus nervi hypoglossi, rami lingualis nervi trigemini, nervi glosso-pharyngei. Rost. 1847. Diese Dissertation konnte ich nicht erhalten.

der Lingualis Geschmacksfasern führen. ELSÄSSER (cit. S. 147) hat aus anatomischen und anatomisch-vergleichenden Gründen den N. glosso-pharyngeus als den Hauptgeschmacksnerv betrachtet, dem R. lingualis jedoch die Fähigkeit zu schmecken nicht abgesprochen. Wichtiger sind aber die Angaben ALCOCK's[1]. Dieser exstirpirte bei Hunden beide Ganglia spheno-palatina ohne dass jedoch der Geschmackssinn eine Veränderung erlitten hätte. Der Geschmack war aber vollständig vernichtet, als ALCOCK gleichzeitig die rami palatini, die Linguales und die Glosso-pharyngei durchschnitt, so dass das Thier am 4. Tage nach der Operation Nahrung, welche mit sehr viel Coloquinthen versetzt war, in so grosser Menge frass, dass dadurch vielleicht der Tod des Thieres eintrat. ALCOCK glaubte sich desshalb auf Grundlage seiner verschiedenen Versuche berechtigt zu behaupten, dass die Perceptionsmittel des Geschmackes die N. glosso-pharyngei und die rami linguales und palatini des N. quintus sind, dass die N. glosso-pharyngei nicht die speciellen Medien des Geschmackes darstellen, und dass das Ggl. spheno-palatinum und die Chorda tympani keinen Einfluss auf die Perception der Geschmacksempfindung haben.

Diese Arbeit von ALCOCK hat in mehrfacher Beziehung eine grosse Bedeutung. Der genannte Physiologe ist der erste, welcher das Ganglion spheno-palatinum exstirpirte, ein Ganglion, welches, wie wir später sehen werden, eine grosse Rolle in der Frage der Geschmacksnerven spielt, er ist auch der erste, welcher die Gaumenäste des zweiten Astes des Trigeminus durchschnitt, und auf Grundlage von Versuchen denselben Geschmacksfasern zuschrieb, wie er auch schliesslich der Chorda tympani Geschmacksfasern absprach.

Die Ansicht, dass neben dem Glosso-pharyngeus auch andere Nerven, und vorzugsweise der Trigeminus Geschmacksfasern führe, gewann immer mehr an Boden.

GUYOT (cit. S. 157) betrachtet, theils auf Grundlage seiner Beobachtungen über die Stellen, welche für die Geschmacksperception bestimmt sind, theils in Folge anatomischer Untersuchungen, theils endlich auch auf seine Versuche mit CAZALIS[2] gestützt, den Lingualis als jenen Nerv, welcher die Tastempfindlichkeit und die Schmeckfähigkeit der Zunge in ihren drei vorderen Viertheilen besorgt. —

1 ALCOCK, Welche sind eigentlich die Geschmacksnerven? Da ich die Originalabhandlung nicht erhielt, so benützte ich Froriep's neue Not. Nr. 18. S. 273. März 1837 und Arch. f. Anat. u. Physiol. 1837, Jahresbericht über die Fortschritte der anat. phys. Wissenschaften im J. 1836. Die Abhandlung erschien unter dem Titel: Determ. to the question which are the nerves of taste in Dublin Journal of Medical and Chemical Science. Nov. 1836.

2 GUYOT et CAZALIS, Recherches sur les nerfs du goût. Arch. générales de médecine etc. III et nouvelle série. IV. p. 258. Paris 1839.

Reid[1] meint zu Folge der Beobachtung, dass nach Durchschneidung der beiden Glosso-pharyngei der Geschmackssinn noch genug stark ist um dem Thiere die Unterscheidung bitterer Substanzen zu ermöglichen, dass dieser Nerv nicht der einzige Geschmacksnerv sei. — Longet (cit. S. 159) betrachtet sowohl den Glosso-pharyngeus als auch den Lingualis als Geschmacksfasern führende Nerven; er bemerkt jedoch weiter, in einigen Fällen hätte er den Eindruck erhalten, als ob Hunde, denen diese beiden Nerven durchschnitten waren, immerhin, wenn auch nur mehr sehr stumpf die Bitterkeit oder den widerlichen Geschmack einzelner Stoffe, wahrzunehmen im Stande gewesen seien. Wir werden später auf diese Angaben noch zurückkommen.

Dasjenige, was wir bis jetzt mitgetheilt haben und was noch mitgetheilt werden soll, beweist, dass der Lingualis Geschmacksfasern enthält, welche für die Zungenspitze und die Zungenränder bestimmt sind. Hiermit ist jedoch noch nicht die Frage erledigt, ob der Lingualis als solcher, nämlich sein Stamm, der Trigeminus, die Geschmacksfasern enthalte, oder ob diese ihm durch die Chorda zugeführt werden, in welch letzterem Falle noch weiter zu ermitteln wäre, woher die Chorda ihre Geschmacksfasern beziehe.[2] Die eben angeregten Fragen müssen nun näher untersucht werden.

Bellingeri (1818)[3] wird als der erste angesehen, welcher der Chorda tympani Geschmacksfasern zuschrieb, es ist aber zu bemerken, dass Bellingeri die Chorda als einen Ast des N. facialis betrachtet, und dass er dieselbe als den vorzüglichsten Geschmacksnerv ansieht, eine Eigenschaft, die er den N. glosso-pharyngeus vollständig abspricht, und nur in sehr geringem Grade dem R. lingualis zuschreibt. — Alcock, wie wir oben S. 167 sahen, sprach der Chorda jede Bedeutung für den Geschmack ab. — Bernard aber hat der Chorda einen Einfluss auf den Geschmackssinn des vorderen Theiles der Zunge vindicirt. Er lässt ebenfalls die Chorda vom Facialis stammen. Dieser ausgezeichnete Forscher hat seine erste Arbeit über die Chorda

1 Reid, An experiment. investig. into the functions of the eight par of nerves. Es wurden benützt: Schmidt's Jahrb. XXI. S. 142. 1839; Arch. f. Anat. u. Physiol. 1838, Jahresb. S. 172; Annali universali di Medicina. LXXXVI. p. 378. Milano 1838; Todd's Cyclopaedia II. p. 499.

2 Es sei hier erwähnt, dass in der Chorda tympani Fasern verlaufen, welche für die Secretion der Gl. submaxillaris bestimmt sind. Diese secretorischen Fasern entspringen vom Facialis. (Vgl. Eckhard in Henle u. Meissner's Jahresber. 1862. S. 418; Heidenhain, Beiträge zur Lehre von der Speichelabsonderung in Studien des physiol. Institutes zu Breslau. IV. S. 23. Leipzig 1868; Loeb in Henle u. Meissner's Jahresber. 1869. S. 239.)

3 Caroli Fr. Joseph Bellingeri, Dissertatio inauguralis quam publice defendebat in regio Athenaeo Anno 1818 die IX maji Augustae Taurinorum.

im Jahre 1843[1] veröffentlicht; im folgenden Jahre kam er wieder auf denselben Gegenstand zurück.[2] Am ausführlichsten jedoch bespricht er die Geschmacksnerven in seinen Leçons.[3]

Bernard schreibt dem R. lingualis N. trigemini und dem N. glosso-pharyngeus Geschmacksfähigkeit zu und sucht durch Anführung von Krankheitsfällen, von Facialislähmungen (Leçons etc. S. 122 u. flg.) und Versuchen an Thieren, bei welch letzteren er theils den Facialis in der Schädelhöhle, theils die Chorda in der Paukenhöhle durchschnitt, nachzuweisen, dass der Facialis durch die Chorda einen besonderen Einfluss auf den Geschmackssinn des vorderen Theiles der Zunge ausübt. Die tiefe Facialislähmung (les paralysies profondes du facial) bei Menschen, die Durchschneidung des Facialis in der Schädelhöhle oder jene der Chorda in der Paukenhöhle bedingen nach Bernard nicht eine vollständige Abolition des Geschmackes an dem vorderen Theile der Zunge, sondern bloss eine Verminderung und eine auffallende Perversion dieser Sensation (S. 121). Diese Verminderung der Sensation soll sich in der Art zeigen, dass an jener Hälfte des vorderen Theiles der Zunge, welche der operirten oder der gelähmten Seite entspricht, die Geschmäcke weniger rasch wahrgenommen werden als an jener, welche der anderen (gesunden) Seite entspricht. Wir glauben dass das Angeführte genüge, da Bernard selbst kein Gewicht auf die weitere Erklärung der Erscheinung legt S. 174 und da andere Beobachter, wie wir bald sehen werden, im Gefolge von gewissen Facialislähmungen wohl eine Abolition des Geschmackes an dem vorderen Theil der Zunge der kranken Seite, niemals aber eine einfache Verlangsamung der Perception der Geschmäcke beobachtet haben.

Kurze Zeit nachdem Bernard seine zwei ersten oben citirten Abhandlungen veröffentlicht hatte, erschien eine Arbeit von Biffi und Morganti (1846)[4], in welcher durch Versuche an Hunden nachgewiesen wird, dass der N. glosso-pharyngeus der Geschmacksnerv für den Gaumen, die Gaumenbögen und die beiden hinteren Drittel sei, während der R. lingualis für das vordere Drittel der Zunge den Ge-

1 Cl. Bernard, Recherches sur la corde du tympan. Archives générales de médecine. 4. II. p. 332. Paris 1843 aus Annales médico-psychologiques. Mai 1843.

2 Cl. Bernard, De l'altération du goût dans la paralysie du nerf facial. Arch. générales de médecine. 4. VI. p. 480. Paris 1844.

3 Cl. Bernard, Leçons sur la Physiologie et la Pathologie du système nerveux. II. Paris 1858.

4 Biffi u. Morganti, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1847, Bericht üb. d. Fortschritte der Physiol. im J. 1846 und Gaz. méd. de Paris 1847. XVII Année. III. Serie. II. p. 188. Die Originalarbeit ist erschienen in Omodei Annali universali. CXIX. p. 389. 1846; ich konnte aber dieselbe nicht erhalten.

schmack vermittelt. Die Chorda wurde ebenfalls untersucht und nach deren Durchschneidung haben sie keinen Unterschied in der Perception der Geschmäcke zwischen der gesunden und der operirten Seite beobachtet.

DUCHENNE[1] beschäftigte sich ebenfalls mit der Function der Chorda als Geschmacksnerv und versuchte dieselbe bei gesunden und kranken Individuen mittelst elektrischer Reize zu erregen. Gestützt auf CUSCO's[2] anatomische Untersuchungen betrachtet DUCHENNE die Chorda als Fortsetzung der Portio intermedia Wrisbergii, und verwirft die Ansicht, dass jene eine Fortsetzung des oberen Fadens (du filet supérieur) des N. Vidianus sei.

Es sei noch bemerkt, dass er weiter angibt, die Chorda erhalte Aeste auch vom Glosso-pharyngeus und zwar durch den JACOBSON'schen Ast mittelst des Plexus tympanicus und auch mittelst des Nerven des ovalen Fensters, welcher in den Fallopischen Canal gelangt und sich mit dem Facialis verbindet.[3] Ich muss aber bemerken, dass HENLE[4] bei der Beschreibung des Plexus tympanicus S. 467 ff. diese von CUSCO angegebene Verbindung nicht erwähnt, wodurch der Zweifel nicht unterdrückt werden kann, ob es sich wohl um eine begründete Beobachtung handelt.

Nach DUCHENNE ruft die elektrische Reizung der Chorda, durch Einführung einer Elektrode in den mit Wasser gefüllten meatus auditivus externus und Anlegung der anderen am Nacken nebst Gefühlsempfindungen auch einen hinreichend deutlichen metallischen Geschmack in den vorderen zwei Drittel der Zunge hervor. Auf die direkte elektrische Reizung des R. lingualis erhielt DUCHENNE keine Geschmacksempfindung. Aus allen seinen Versuchen und Beobachtungen an Kranken zieht DUCHENNE den Schluss, dass die Veränderungen der Geschmacksfähigkeit, welche gewisse Facialislähmungen begleitet, einer Verletzung der Chorda zugeschrieben werden muss, und dass letztere zur allgemeinen Empfindlichkeit und zur Geschmacksfähigkeit der vorderen zwei Drittel der Zunge beiträgt, demnach wäre

1 DUCHENNE (de Boulogne), Recherches électro-physiologiques et pathologiques sur les propriétés et les usages de la corde du tympan. Archiv. générales de médecine. XXIV. 4. p. 385. Paris 1850.

2 CUSCO, Thése pour le doctorat en médecine. Paris 1848 in 4° citirt nach DUCHENNE.

3 Outre les anastomoses connues du plexus tympanique avec le nerf facial, M. CUSCO signale une autre anastomose remarquable et plus directe avec le rameau de JACOBSON; c'est le filet décrit sous le nom de filet de la fenêtre ovale, qui, au lieu, de se terminer dans ce point, s'engage entre les deux branches de l'étrier, pénètre à travers un pertuis dans le canal de Fallope et se réunit au facial.

4 J. HENLE, Handbuch der Nervenlehre des Menschen. 2. Aufl. Braunschweig 1879.

die Integrität der Chorda zur vollen Ausübung der genannten Functionen nothwendig.

Auch diese Arbeit von Duchenne ist nicht im Stande unsere Frage aufzuklären, dieselbe legt uns im Zusammenhange mit den früher angeführten Angaben nur die Vermuthung nahe, dass auch in der Chorda Geschmacksfasern verlaufen. Die Schriften von Stich[1], Neumann[2], Moos[3], Erb[4] und anderen haben zwar den Beweis geliefert, dass in der Chorda meistens Geschmacksfasern enthalten sind, über deren Ursprung aber haben alle die bis jetzt angeführten Arbeiten uns keinen sicheren Aufschluss gegeben, höchstens nur zu Hypothesen geführt.[5]

Die nächsten Studien waren vorzugsweise darauf gerichtet, diese Frage zu erledigen.

Schiff[6] hat verschiedene Schriften über die Geschmacksnerven veröffentlicht. Er betrachtet den N. glosso-pharyngeus als jenen Nerv, welcher der Sensibilität der Zungenbasis vorsteht, und soll derselbe vorzugsweise Geschmacksnerv für das Bittere sein; der aus dem Trigeminus stammende R. lingualis ist sensitiver Nerv und soll vorzugs-

---

1 A. Stich, Beiträge zur Kenntniss der Chorda tympani. Annalen des Charité-Krankenhauses etc. 8. Jahrg. 1. Hft. S. 59. Berlin 1857.

2 Neumann (cit. S. 153). Derselbe, Partieller Verlust des Geschmackssinns als Folge einer Otitis interna, ein neuer Beitrag zur Kenntniss der Chorda tympani. Königsberger med. Jahrb. IV. S. 340 nach Henle und Meissner's Jahresbericht 1864. S. 554.

3 Moos, Innervationsstörungen durch Application d. künstlichen Trommelfells. Vorläufige Mittheilung. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1867. Nr. 46. Derselbe, Ueber Störungen des Geschmacks- u. Tastsinnes der Zunge in Folge von Application des künstlichen Trommelfells bei grossen Trommelfell-Perforationen im Arch. f. Augen- und Ohrenheilkunde. I. 1869.

4 W. Erb, Zur Casuistik der Nerven- und Muskelkrankheiten. Deutsch. Arch. f. klin. Med. VII. S. 246. 1870. Derselbe, Ueber rheumatische Facialislähmung, ebendaselbst XV. S. 6. 1875.

5 Wir können nicht auf die zahlreichen veröffentlichten Krankengeschichten speciell eingehen, und müssen uns mit der Hinweisung auf die Schriften von Bernard (l. c.), Duchenne (l. c.), Stich (l. c.), Romberg (Nervenkrankheiten), Erb (l. c.) begnügen. In denselben werden mehr oder weniger vollständig sowohl bezüglich des n. facialis als auch des n. trigeminus Krankheitsfälle mitgetheilt, in welchen das Verhalten des Geschmackssinnes am vorderen Theil der Zunge näher geprüft wurde.

6 Ich führe hier die diessbezüglichen Schriften von M. Schiff an, in so weit dieselben theils im Original theils im Auszug mir zur Kenntniss gelangten. — M. Schiff, Neue Untersuchungen über die Geschmacksnerven des vorderen Theiles der Zunge. Molesch. Unters. X. S. 406. Giessen 1867. Derselbe, Leçons sur la Physiologie de la digestion. I. Florence et Turin 1867. Derselbe, Intorno ai nervi del gusto ed alla eterotopia tattile. Il Morgagni Disp. I. p. 47. Auszug in Virchow's und Hirsch Jahresber. 5. Jahrg. 1870. I. S. 145 und Centralbl. f. d. med. Wiss. 1870. No. 21. S. 330. Derselbe, Sui nervi gustatori. Lettera al Prof. Francesco Randaccio a Palermo. L'Imparziale XI. No. 15 (Separatabdruck). Enthält nur eine Polemik. Derselbe, Sull' origine dei nervi gustatori della parte anteriore della lingua. L'Imparziale XII. No. 14. 1872. Auszug im Centralbl. f. med. Wiss. 1873. Nr. 59. S. 943.

weise für den sauren Geschmack bestimmt sein und auch eine geringe Empfindlichkeit für das Bittere besitzen, er versieht das vordere Drittel der Zunge. Wir können uns mit dieser Ansicht, welche auch von Prevost[1] getheilt wird, nicht befreunden, da neben dem bitteren und saueren noch ein salziger und ein süsser Geschmack vorkommt, und weil wir auch mit dem hinteren Theil der Zunge, in welchem sich der Glosso-pharyngeus verbreitet, alle Geschmäcke ohne Ausnahmen wahrnehmen. Diese Bemerkungen seien nur nebenbei gemacht, wichtig für uns ist zu erfahren, woher nach Schiff der R. lingualis seine Geschmacksfasern bezieht.

Nach Schiff (Leçons etc.) S. 140 verlassen die für den vorderen Theil der Zunge bestimmten Geschmacksfasern das verlängerte Mark mit den Wurzeln des Trigeminus, treten aus der Schädelhöhle mit dem zweiten Ast dieses Nerven, gehen zum Ganglion spheno-palatinum um von hier entweder direkt durch den N. sphenoidalis zum dritten Ast des Trigeminus, oder durch den N. Vidianus zum Ganglion geniculatum des Facialis zu gelangen, und verbinden sich dann entweder in der Höhe des Ganglion oticum mit dem Stamm des N. maxillaris inferior oder gelangen durch die Chorda tympani zum R. lingualis.[2]

Schiff wurde zu diesem Schluss durch folgende Versuche geführt: Nach Durchschneidung des Trigeminus in der Schädelhöhle fand er den Geschmack an dem vorderen Theil der Zunge verschwunden (Leçons etc.). Dagegen nach Durchschneidung des N. inframaxillaris vor der Verbindung des R. lingualis mit der Chorda fand er den Geschmack an dem genannten Theile der Zunge vollkommen erhalten; nach Durchschneidung aber der Chorda tympani in der Nähe des R. lingualis, vor ihrer Verbindung mit diesem und allen jenen Nervenfasern, die sich mit dem hinteren und inneren Rande des Lingualis und des Maxillaris inferior vereinigen, fand Schiff Abwesenheit des Geschmackes (Leçons etc. und Neue Untersuch.). Den beiden zuletzt angeführten Operationen ging immer die Durchschneidung der beiden Glosso-pharyngei voran. — Schiff schnitt ferner die beiden Glosso-pharyngei durch und überzeugte sich, dass die Geschmacksempfindung des vorderen Theiles der Zunge gegen Säuren etwas vermindert, gegen bittere Stoffe aber noch sehr stark war; nun exstirpirte er die beiden Ganglia spheno-palatina nach der

---

1 J. L. Prevost, Note relative aux fonctions gustatives du nerf lingual. Gaz. méd. de Paris 1869. 40. Année. 3. Serie. XXIV.

2 Ich theile die eigenen Worte von Schiff mit: Les nerfs gustatifs des parties antérieures de la langue quittent l'encéphale avec les racines du trijumeau, sortent du crâne avec la seconde branche de ce nerf, entrent dans le ganglion sphéno-palatin et de là se rendent soit par le nerf sphénoïdal directement à la troisième branche (?), soit par les nerfs vidiens au ganglion géniculé du facial, pour s'accoller ensuite au tronc du maxillaire inférieur au niveau du ganglion otique ou pour se jeter dans le nerf lingual avec les filets compris sous le nom de corde du tympan.

Methode von PREVOST (siehe später S. 180), und sofort fehlte jede Spur einer Reaction gegen Coloquinthen (besser als Coloquinthen soll Digitalin zu diesen Versuchen sich eignen) (Intorno ai nervi etc.). SCHIFF durchschnitt endlich beide Glosso-pharyngei und beide Chordae tympani (nach der gewöhnlichen Methode in der Paukenhöhle) und dennoch behielt der vordere Theil der Zunge noch immer die Fähigkeit, sauer und bitter zu schmecken, wenn auch vielleicht in etwas geringerem Grade (Leçons etc.). Endlich ist zu erwähnen, dass SCHIFF nicht bloss auf die Zeichen von Unbehaglichkeit, sondern auch auf die Speichelsecretion Rücksicht nahm, die eintritt, wenn die Geschmacksnerven erregt werden, und legte zu dem Ende Speichelfisteln an.

LUSSANA hat sich ebenfalls sehr eingehend mit den Geschmacksnerven des vorderen Theiles der Zunge beschäftigt und tritt gegen die eben (siehe oben S. 171 und folg.) angeführte Ansicht von SCHIFF auf. — Nach LUSSANA verlassen die Geschmacksfasern für den vorderen Theil die Zunge das verlängerte Mark mit der Portio intermedia Wrisbergii, gelangen zum Ganglion geniculi um dann mit der Chorda tympani zu den R. lingualis trigemini sich zu begeben; er kommt somit auf die Ansicht DUCHENNE's (CUSCO) zurück (siehe oben S. 170).

LUSSANA stützt seine Ansicht durch Anführung von Krankenbeobachtungen: nämlich Lähmung des Trigeminus ohne Verlust des Geschmackes am vorderen Theil der Zunge [1], Lähmung des N. facialis mit Verlust des Geschmackes an dem genannten Theil [4]; Durchschneidung des R. lingualis bei Menschen [1 3 4] und Verletzung der Chorda tympani bei Menschen [2 3] mit Abolition des Geschmackssinnes an derselben Seite des vorderen Theiles der Zunge, und mit Versuchen an Hunden, nämlich Durchschneidung des Lingualis und der Chorda tympani. [1 3]

PREVOST hat mehrere Schriften über das Ganglion spheno-palatinum veröffentlicht; in der ersten [5] finden wir, dass nach Exstirpation

---

1 G. INZANI e F. LUSSANA, Sui nervi del gusto. Osservazioni ed esperienze. Annali Universali di Medicina. CLXXXI. fascicolo di Agosto 1862. Separatabdruck.

2 LUSSANA, Destruction du goût a la partie antérieure de la langue par suite de la section de la corde du tympane. Gaz. méd. d. Paris 1864. 34. Année III. Serie. XIX. p. 409. Die Originalschrift wurde veröffentlicht in Annali Universali di Medicina. CLXXXII. p. 307.

3 LUSSANA, Recherches expérimentales et observations pathologiques sur les nerfs du goût. Arch. d. physiol. norm. et pathol. II. 1869. Diese Arbeit wurde auch in italienischer Sprache veröffentlicht unter dem Titel: Sui nervi del gusto. Ricerche sperimentali ed osservazioni patologiche. Gaz. med. italiana Provincie Venete. Anno XII. No. 14, 15 e 16. 1869.

4 LUSSANA, Sur les nerfs du goût. Observations et expériences nouvelles. Arch. d. physiol. norm. et pathol. IV. 1871—72. Dieselbe Arbeit in italienischer Sprache unter dem Titel: Sui nervi del gusto. Novelle osservazioni ed esperienze. Gaz. med. italiana Provincie Venete. Anno XIII. No. 42, 44, 45 e 46. 1870.

5 J. L. PREVOST, Recherches anatomiques et physiologiques sur le ganglion Sphéno-palatin. Arch. d. physiol. norm. et pathol. I. S. 7 u. 207. Paris 1868.

des genannten Ganglion der Geschmack an dem vorderen Theil der Zunge bei Hunden nicht verändert ist, und der N. Vidianus weder in der Nähe des Ganglion geniculi noch in jener des Ggl. spheno-palatinum degenerirte Fasern zeigt; woraus Prevost den Schluss zieht, dass die Fasern des N. petrosus superficialis major vom Gl. geniculi entspringen. — Wichtiger ist die andere Schrift von Prevost (cit. S. 172), in welcher er die direkten Versuche beschreibt, die er anstellte um die Bedeutung des Gl. spheno-palatinum für den Geschmack zu ermitteln. Nach Exstirpation des Gl. spheno-palatinum fand Prevost niemals eine Veränderung des Geschmackes an der operirten Seite. Dieses Resultat stimmt mit jenem, welches schon Alcock erhielt (siehe oben S. 167) und widerspricht den Angaben Schiff's. Letzterer (Intorno ai nervi etc. cit. S. 171) hat getrachtet, die Beweiskraft dieser Versuche von Prevost dadurch zu schmälern, dass er erwähnt, dieselben könnten nur dann etwas beweisen, wenn man vorher beide Glosso-pharyngei durchschnitten hätte. Prevost[1] hat aber nach Exstirpation des Ggl. spheno-palatinum und nach Durchschneidung des N. Vidianus keine degenerirten Fasern in der Chorda gefunden, und auch diese Beobachtung ist der Ansicht Schiff's nicht günstig.

Sehr ausführlich endlich bespricht Prevost[2] Versuche über die Geschmacksnerven der Zungenspitze in seiner neuesten Arbeit. Die Versuche sind gewiss mit grosser Umsicht vorgenommen und es ist hierbei auch die von Schiff gemachte Einwendung berücksichtigt (siehe oben). Aus Prevost's Versuchen wird ersichtlich, dass durch das Gl. spheno-palatinum gar keine Geschmacksfasern hindurchgehen, dass aber in der Chorda tympani Geschmacksfasern enthalten sind; es ist jedoch zu bemerken, dass Prevost selbst sagt: nach gleichzeitiger Durchschneidung beider Glosso-pharyngei und beider Chordae (in der Paukenhöhle) sei der Geschmackssinn an dem vorderen Theil der Zunge bald sehr wenig, bald bedeutend vermindert und in einem Falle (bei einer Katze) vollständig vernichtet gewesen. Der Geschmackssinn am vorderen Theil der Zunge war aber immer vollständig vernichtet, wenn nach Durchschneidung beider Glosso-pharyngei und beider Chordae auch jene des Lingualis ausgeführt wurde. — Prevost äussert jedoch keine Meinung weder über die Bedeutung der Chorda für den Geschmackssinn, noch über die Abstammung der Geschmacksfasern, welche in derselben und im

1 J. L. Prevost, Sur la distribution de la corde du tympan. Compt. rend. LXXV. p. 1828. Juillet-Decembre 1872.

3 J. L. Prevost, Nouvelles expériences relatives aux fonctions gustatives du nerf lingual. Arch. d. physiol. norm. et pathol. V. p. 253 u. 375. Paris 1873.

R. lingualis verlaufen. Ich glaube, dass die Versuche PREVOST's eine leichte Erklärung in der Hypothese CARL's, die bald angeführt werden soll, finden können.

VULPIAN[1] hat ebenfalls mehrere Arbeiten veröffentlicht, wobei wir uns jedoch nur an die letzte halten wollen. Er untersuchte bloss, in welchen Zweigen nach Durchschneidung der einzelnen Nerven degenerirte Fasern sich finden. Wurde der Facialis in der Schädelhöhle durchschnitten, bei welcher Operation auch die Portio intermedia Wrisbergii mit durchtrennt wird, so fand man wohl die Fasern des Facialis und fast alle des N. petrosus superficialis major verändert, jene der Chorda aber, mit Ausnahme von sehr wenigen, unverändert.[2] Diese Beobachtung VULPIAN's spricht gegen die Ansicht DUCHENNE's (siehe oben S. 170) und LUSSANA's (siehe oben S.173), dass die Geschmacksfasern für den vorderen Theil der Zunge von der Portio intermedia Wrisbergii entspringen; sie ergänzt aber jene von PREVOST da dieser (siehe oben S. 173) nach Exstirpation des Ggl. sphenopalatinum keine degenerirten Fasern im N. petrosus superf. major fand. Die Versuche VULPIAN's im Zusammenhange mit jenen von PREVOST ergeben somit, dass die Fasern des N. petr. sup. maj. vom Ggl. geniculi ausgehen und eine Verbindung zwischen diesem und dem Ggl. spheno-palatinum herstellen, nicht aber umgekehrt. Sie sprechen daher wieder gegen die Behauptung SCHIFF's, dass der N. petr. sup. maj. Geschmacksfasern vom spheno palatinum zum Ggl. geniculi führe. VULPIAN fand, nach Exstirpation des Ggl. spheno-palatinum, auch in dem N. petrosus superf. minor keine degenerirten Fasern. Dagegen fand er, dass nach Durchschneidung des Trigeminus in der Schädelhöhle die Chordafasern degenerirt waren, was der Ansicht SCHIFF's zu Hilfe käme. Aus der letzten Beobachtung zieht wohl VULPIAN den Schluss, dass die Chorda vom Trigeminus stamme, setzt aber gleich hinzu, dass die Frage noch nicht endgültig entschieden sei.

Wir haben nun die Schrift von CARL[3] zu erwähnen. Dieselbe ist in doppelter Hinsicht von Bedeutung, erstens weil ein Arzt die Beobachtung an sich selbst anstellen konnte, zweitens weil wir einer Hypothese für die Abstammung der Geschmacksnerven des vorderen Theiles der Zunge begegnen, welche vor ihm wohl auf Grundlage

1 VULPIAN, Expériences ayant pour but de determiner la veritable origine de la corde du tympan. Gaz. méd. de Paris 1878. VII. 49. Année. 5. Serie. p. 231.

2 Diese wenigen veränderten Fasern, die VULPIAN in der Chorda, nachdem er den N. facialis in der Schädelhöhle durchgeschnitten hatte, fand, können wohl jene Fasern sein, die für die Speichelsecretion bestimmt sind (siehe oben S. 168 die Note).

3 CARL AUGUST CARL, Ein Beitrag zur Frage: Enthält die Chorda tympani Geschmacksfasern? Separatabdruck aus Arch. f. Ohrenheilkunde. X. S. 152—178. 1875.

der anatomischen Verhältnisse ausgesprochen wurde, niemals aber eine nähere physiologische Begründung erfuhr.

Es wurde schon oben erwähnt (siehe S. 170), dass Duchenne angiebt, die Chorda erhalte Aeste aus dem N. glosso-pharyngeus durch den N. Jacobsonii mittelst des Plexus tympanicus. — W. Krause (cit. S. 147) sagt ausdrücklich, die Fasern des N. glosso-pharyngeus gelangen auf dem Wege des N. tympanicus durch den N. petrosus superficialis minor zum N. facialis und von diesem als Chorda tympani zur Zunge. — Endlich hat Garibaldi[1] einen kleinen Verbindungszweig zwischen N. glosso-pharyngeus und Facialis beschrieben, über welchen jedoch die Acten noch nicht abgeschlossen sind (vgl. Henle's Nervenlehre 1879. S. 472).

Die Geschmacksfähigkeit der linken vorderen Partie der Zunge ist bei Carl für alle Geschmäcke vernichtet, jene der rechten Seite vollkommen erhalten. Alle Gehirnnerven sind vollkommen functionsfähig, es besteht nämlich keine Störung weder im Gebiete des Facialis noch in jenem des Trigeminus; eine Otorrhö aber, welche seit der frühesten Jugend dauert, hat das linke Trommelfell fast vollständig zerstört, die Schleimhaut der Labyrinthwand der Trommelhöhle ist in Vernarbung begriffen ohne wesentliche Hypertrophie derselben. Carl erwähnt, dass seine linke Chorda noch unverändert zu sein scheint, da die sekretorischen und sensiblen Fasern derselben sehr prompt antworten. Carl nimmt desshalb an, dass die Geschmacksfasern für die vordere Zungenpartie vom N. glosso-pharyngeus stammen, und durch das Ggl. petrosum und den N. tympanicus (od. Jacobsonii) zum plexus tympanicus gelangen, von hier aus theils (und zwar die Hauptmasse) durch den N. petrosus superf. minor zum Ggl. oticum und somit zum Lingualis gelangen, theils (und zwar der kleinste Theil) durch den ramus communicans cum plexu tympanico zum Ggl. geniculi und von hier durch Facialis und Chorda zu dem R. lingualis treten. Wir sehen somit, dass der Glosso-pharyngeus, wenn auch auf Umwegen, doch die vorderen Theile der Zunge mit Geschmacksfasern versieht.

V. Urbantschitsch (cit. S. 156) kommt ebenfalls auf Grundlage seiner Beobachtungen an Kranken zur Ansicht, dass im Plexus tympanicus Geschmacksfasern verlaufen, welche vom Glosso-pharyngeus durch den N. Jacobsonii dahingelangen.

Um alle Ansichten über die Wege, auf welchen die vorderen Theile der Zunge mit Geschmacksfasern versorgt werden, zu erwähnen, so erübrigt uns noch eine Angabe Valentin's mitzutheilen, der zu Folge Fasern des Glosso-pharyngeus mit dem Lingualis bis zur Zungenspitze ge-

1 Garibaldi, La Liguria medica 1865, angef. nach Lussana. Sur les nerfs etc. siehe oben S. 173.

langen [1], eine Angabe, die er auch später 1864 (cit. S. 166) aufrecht hielt und welche von HIRSCHFELD [2] ebenfalls gemacht wurde. Es genügt, diese Angaben erwähnt zu haben, da die übrigen Anatomen solche Beobachtungen nicht bestätigen konnten.

Wenn wir auch nicht leugnen können, dass viel Scharfsinn und viel Mühe angewendet wurde, um die Frage über den Ursprung der Geschmacksfasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge zu lösen, so müssen wir doch gestehen, dass dieselbe endgültig noch nicht entschieden ist. Diejenige Ansicht, welche die meisten Anhänger für sich hat, und welche seit MAGENDIE's Zeit in Geltung blieb, geht dahin, dass diese Geschmacksfasern vom Trigeminus stammen. Eine Reihe Versuche an Thieren, eine Reihe Beobachtungen an Kranken mit Trigeminuslähmung und Verlust des Geschmackssinnes an der Zungenspitze sollen für dieselbe sprechen. — Gegen die Ergebnisse der Versuche an Thieren lassen sich mehrere Einwände erheben, einmal, dass es immer sehr schwer ist zu ermitteln, wie der Geschmackssinn an einer beschränkten Zungenpartie bei Thieren sich verhalte (siehe oben S. 162), ferner dass sowohl nach SCHIFF (cit. S. 171) als auch nach LUSSANA (cit. S. 173) der R. lingualis als solcher keine Geschmacksfasern enthalten soll, wodurch der erstgenannte Forscher sich zu der Annahme genöthigt sah, dass die betreffenden Fasern auf dem Umweg des N. Vidianus zum Facialis kommen, um von hier durch zwei Wege zum R. lingualis zu gelangen. Gegen die Behauptung SCHIFF's, dass der N. Vidianus Geschmacksfasern führe, sprechen aber die Beobachtungen PREVOST's und VULPIAN's.

Eine andere Ansicht ist, dass die Geschmacksfasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge von der Portio intermedia Wrisbergii entspringen und längs der Chorda zum R. lingualis gelangen. Gegen diese Ansicht sprechen aber folgende Gründe: Man hat wohl bei Facialislähmungen Abolition des Geschmackes an der Zungenspitze beobachtet, aber nur in jenen Fällen, in welchen die Ursache der Lähmung zwischen Gl. geniculi und vor der Abgabe der Chorda sass, niemals aber wenn die Ursache der Lähmung vor dem Gl. geniculi sich befand. Ausserdem ist auch die Beobachtung VULPIAN's, welcher nach Durchschneidung des Facialis in der Schädelhöhle nur sehr wenige degenerirte Fasern in der Chorda fand, dieser Ansicht nicht günstig.

1 G. VALENTIN, De functionibus nervorum cereb. et nervi sympath. Libri quattuor. Bernae et Sangalli Helvetiorum 1839.

2 HIRSCHFELD citirt von BERNARD S. 239 u. 340 in Leçons sur la physiol. et la path. du syst. nerveux. II. Paris 1858.

So bleibt uns endlich noch die letzte Ansicht, dass nämlich die Geschmacksfasern für die vorderen zwei Drittel der Zunge vom Glosso-pharyngeus stammen und durch den N. tympanicus zum Pl. tympanicus und von hier auf zwei Wegen zum Lingualis gelangen. Diese Ansicht findet eine Stütze in der Beobachtung CARL's, in den Fällen von Trigeminuslähmungen, bei welchen der Geschmack an der Zungenspitze nicht verändert war, und erklärt uns leicht, wie es komme, dass die Facialislähmungen, deren Anlass oberhalb des Gl. geniculi liegt, niemals von Geschmacksstörungen begleitet sind. Dagegen fehlt dieser Ansicht die Sanktion durch physiologische Versuche und es widersprechen ihr die Fälle von Trigeminuslähmungen mit Geschmacksabolition an der Zungenspitze, sowie die Beobachtungen von VULPIAN, dass nach Durchschneidung des Trigeminus in der Schädelhöhle die Fasern der Chorda degenerirt seien. Die Ansicht, dass die Geschmacksfasern für die Zunge bloss vom Glossopharyngeus stammen, ist diejenige, welche auch vom theoretischen Standpunkt die meiste Berechtigung hat, da dadurch ein einheitlicher Weg für den Austritt der Geschmacksfasern aus dem verlängerten Mark hergestellt wird.

Es erübrigt uns noch die Frage zu untersuchen woher der weiche Gaumen und die vorderen Gaumenpfeiler ihre Geschmacksfasern beziehen.

MAGENDIE (Lehrbuch etc. cit. S. 165) hat allen Aesten des fünften Paares, welche in die verschiedenen zur Aufnahme von Geschmackseindrücken bestimmten Theile gehen, Geschmacksfasern zugeschrieben. KORNFELD (cit. S. 157), bloss auf Krankenbeobachtungen gestützt, betrachtet den N. pterygo-palatinus als den Geschmacksnerv für den Gaumen. J. MÜLLER[1] schreibt ebenfalls den Gaumenästen des Quintus Geschmacksfähigkeit zu, stützt sich aber bloss auf die Thatsache, dass der weiche Gaumen schmeckt; ALCOCK (cit. S. 167) nimmt an, dass die N. nasopalatini Geschmacksfasern führen; seine Versuche sind aber nicht beweisend, da er vorher den N. glosso-pharyngeus nicht durchschnitten hatte. GUYOT (cit. S. 157) hat bloss eine anatomische Untersuchung der Nerven, welche zu dem weichen Gaumen gehen, mitgetheilt und zog daraus den Schluss, dass der Glossopharyngeus vielleicht den Geschmack am weichen Gaumen besorge. Wir wollen noch nebenbei bemerken, dass GUYOT Aeste des Glossopharyngeus bis zur Epiglottis und Glottis verfolgt hat; aber vorher schon hatte dieser Nerv mit dem Vagus und mit den Cervicalgang-

1 J. MÜLLER, Anmerkung zur Abhandlung von STANNIUS cit. S. 166.

lien Anastomosen eingegangen. Hein[1] nimmt ebenfalls an, dass Fasern des Glosso-pharyngeus sowohl zum weichen Gaumen und auch zu den vorderen Gaumenbogen gelangen. Versuche hat er nicht vorgenommen. Biffi und Morganti (cit. S. 169) sehen den Glosso-pharyngeus als Geschmacksnerv für den Gaumen und die Gaumenbogen an. Longet (cit. S. 159) vermuthet auf Grund des Eindruckes, welchen er gewonnen, als Hunde, denen sowohl der Glosso-pharyngeus als auch der R. lingualis durchschnitten worden war, den widerlichen Geschmack einiger Stoffe noch erkennen konnten, dass dies durch den hängenden Gaumen bedingt sei, welcher sein Geschmacksvermögen von den Gaumennerven bezieht. Und in der Note bemerkt Longet, dass Debrou[1] Fäden vom Glosso-pharyngeus beschrieben hatte, „welche sich zum horizontalen Theile des hängenden Gaumens be„geben (der R. pharyngobasilaris Krause); es wäre also möglich, „dass der Oberkieferast des fünften Paares Nichts mit der Sinnes„empfindlichkeit dieser Stelle zu thun hätte.“ Bernard (Leçons etc. cit. S. 169) scheint anzunehmen, dass der Geschmack am weichen Gaumen und den Gaumenbögen vom Trigeminus abhänge. Valentin [(cit. S. 166) S. 113 2. Th.] endlich nimmt an, dass der Geschmack am weichen Gaumen vom Glosso-pharyngeus vermittelt werde.

Nach W. Krause (cit. S. 147) soll die Hinterfläche der Epiglottis ihre Nerven direkt vom N. glosso-pharyngeus erhalten, und schon Valentin (cit. S. 177) hatte eine gleiche Aeusserung gethan. Vergleiche oben S. 178 die gleiche Angabe von Guyot.

Dieser Ueberblick zeigt uns, dass die Frage über den Ursprung der Geschmacksfasern des weichen Gaumens und der vorderen Gaumenbögen noch nicht endgültig beantwortet ist; es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass die genannten Theile vom N. glosso-pharyngeus ihre Geschmacksfasern beziehen.

Wir wollen hier noch andeuten, dass Ferrier[3], gestützt auf Versuche, die er bei Thieren (Affen, Hunden, Katzen und Kaninchen) vornahm, sowie auch auf Grund von Beobachtungen an kranken Menschen, die Ansicht vertheidigt, dass die Riech- und Schmeckcentren nahe neben einander im unteren Theile des Schläfelappens sich befinden. Die beiden Centren lassen sich durch Versuche nicht gegen einander abgrenzen; Ferrier jedoch, gestützt auf den Effect der elektrischen Reizung, nimmt den Uncus (Gyrus uncinatus) für den Geruchssinn, und die Gehirntheile, welche zum Uncus in inniger Beziehung stehen, für den Geschmackssinn

---

1 J. A. Hein, Ueb. die Nerven d. Gaumensegels. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1844.
2 Debrou, Thése 1841. Nach Longet citirt.
3 D. Ferrier, Die Functionen des Gehirnes. Uebers. von Dr. H. Obersteiner. Braunschweig 1879.

in Anspruch. Ausserdem soll das Centrum für den Geschmack und dasjenige für die Tastempfindlichkeit der Zunge innerhalb des Grosshirns innig associirt sein.

3. *Methoden der Nervendurchschneidung.*

Wir wollen noch schliesslich die Methoden der Durchschneidung der hier in Betracht kommenden Nerven erwähnen.

Glosso-pharyngeus. Panizza, Kornfeld, Stannius und Schiff haben die von ihnen angewendeten Methoden zur Durchschneidung dieses Nerven beschrieben. Die ausführlichste Beschreibung der Operationsmethode wurde jedoch von Prevost (cit. S. 174) gegeben. Cyon [1] S. 315 erwähnt zwei Methoden. Bei der zweiten, die auch ich häufig angewendet habe, wird der Hauptschnitt ziemlich nahe dem Winkel des Unterkiefers geführt, der obere Ansatz des Sterno-cleido-mastoideus nach aussen gedrängt und in der Tiefe der Glosso-pharyngeus aufgesucht. Nahe seinem Austritte durch das Foramen jugulare wird er entweder mit Exstirpation eines kleinen Theiles durchschnitten oder mit einer Pincette erfasst und unter torquirenden Bewegungen aus der Schädelhöhle herausgerissen.

Trigeminus. Dieser Nerv wird in der Schädelhöhle durchschnitten und zwar nach der Methode, welche an einer andern Stelle dieses Werkes beschrieben wurde.

Ramus lingualis trigemini. Die Durchschneidung desselben nach seiner Verbindung mit der Chorda ist nicht schwer und man wendet dazu im Allgemeinen jenes Verfahren an, welches für das Studium des Einflusses der Chorda auf die Speichelsecretion der Submaxillaris benützt wird. Diese Methode wurde ebenfalls an einer anderen Stelle dieses Werkes beschrieben. Schwieriger ist die Durchschneidung des Lingualis vor der Aufnahme der Chorda; Schiff (Leçons etc. cit. S. 171) hat diesen Nerv von der inneren Seite der Mundhöhle aus durchgeschnitten.

Ganglion spheno-palatinum. Alcock, Schiff und Prevost haben Operationsmethoden angegeben, von denen die beste jene von Prevost zu sein scheint (cit. S. 173). Es wird die Apophysis zygomatica entfernt und dadurch die Fossa pterygo-maxillaris blosgelegt, der Augapfel wird nach oben gedrängt und die Gefässe unterbunden, so gelangt man nach Zurückdrängung des Bindegewebes sehr leicht auf den N. maxillaris superior, auf die Rami infraorbitales und Dentares superiores, welche das Ganglion und den N. naso-palatinus bedecken.

Chorda tympani. Dieselbe wird meistens in der Paukenhöhle durchschnitten. Nach Cyon (l. c.) S. 514 wird mit einem scharfen Neurotom durch das Trommelfell in die Paukenhöhle gedrungen, und indem man dessen Schneide nach oben richtet, wird das Messer mit einiger Kraft zurückgezogen. Die Chorda wird dabei ganz sicher durchgetrennt.

Facialis. Cyon (l. c.) S. 513 beschreibt eine Methode, um diesen Nerv in der Schädelhöhle ohne deren Eröffnung zu durchschneiden; das Thier soll aber oft wegen starker intercranieller Blutung zu Grunde gehen.

1 E. Cyon, Methodik der physiologischen Experimente u. Vivisectionen. Giessen und St. Petersburg 1876.

ZWEITES CAPITEL.

Die Reize für das Geschmacksorgan.

I. Elektrische Reize.

SULZER (1752)[1] hat zuerst bei Application von zwei verschiedenen Metallen an die Zunge eine eigenthümliche Geschmacksempfindung gehabt, die er mit jener des Eisenvitriols vergleicht. Dieser von den neueren Physiologen nach SULZER benannte Versuch, welcher wie DU BOIS-REYMOND[2] (S. 54 Note) bemerkt, als der erste thierisch-elektrische Versuch angesehen werden muss, gerieth aber in Vergessenheit, bis VOLTA (1792) ihn aufs Neue entdeckte, und zum Ausgangspunkt für die elektrische Reizung der Sinnesorgane machte.

VOLTA[3] (S. 93 bis 95, S. 159, S. 161, S. 182) erkannte, dass der eigenthümliche Geschmack bei der Application von zwei verschiedenen Metallen an die Zunge von einem elektrischen Strome hervorgerufen wird, und war auch der erste[4] (S. 123), welcher die Zunge mit dem Strome der von ihm entdeckten Säule reizte. — In den ersten Jahren nach der Veröffentlichung der VOLTA'schen Beobachtungen wurden dieselben von allen Forschern wiederholt, und es sind darüber mehrere Schriften erschienen (PFAFF[5], MONRO[6], HUMBOLDT[7], RITTER[8]).

---

1 Histoire de l'Academie des Sciences et Belles lettres de Berlin (année 1752). 1754. 4°. Recherches sur l'origine des sentiments agréables et désagréable par M. SULZER. Troisiéme partie. Des plaisirs des sens p. 356 Note; citirt nach DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen etc. (siehe unten).

2 E. DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen über thierische Elektricität. I. Berlin 1848.

3 Collezione dell' opere del cav. Conte ALESSANDRO VOLTA patrizio comasco. II. parte I. Firenze 1816. Ich citire bloss Collezione etc., ohne die einzelnen Schriften VOLTA's anzuführen, da ich ohnehin im Texte die Seiten der Collezione angebe, und dieselbe leicht zugänglich ist.

4 Collezione dell' opere di ALESSANDRO VOLTA etc. II. parte II.

5 C. H. PFAFF, Abhandlung über die sogenannte thierische Elektricität in Gren's Journ. d. Physik. VIII. Leipzig 1794. Derselbe, Ueber thierische Elektricität u. Reizbarkeit. Ein Beitrag zu den neuesten Entdeckungen über diese Gegenstände. Leipzig 1795. Derselbe in Gehler's physikalisches Wörterbuch, neu bearbeitet von BRANDES, GMELIN, HORNER, MUNCKE, PFAFF. IV. 2. Abth. Leipzig 1828. Artikel Galvanismus bearbeitet von PFAFF. S. 734—736.

6 ALEXANDER MONRO u. RICHARD FOWLER, Abhandlung über thierische Elektricität und ihren Einfluss auf das Nervensystem. Leipzig 1796.

7 F. A. VON HUMBOLDT, Versuche über die gereizten Muskel- und Nervenfasern nebst Vermuthungen über den chemischen Process des Lebens in der Thier- u. Pflanzenwelt. I. Posen und Berlin 1797.

8 J. W. RITTER, Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess in dem Thierreich begleite nebst neuen Versuchen und Bemerkungen über den Galva-

Das erste und das wichtigste Resultat dieser Bestrebungen, welches auch die späteren Forscher bestätigten, ist folgendes: Wenn durch die Zunge ein elektrischer Strom geht, so hat man an der Stelle, an welcher der Strom eintritt (Anode) einen säuerlichen, an der Stelle dagegen, an welcher der Strom austritt (Kathode) einen anderen Geschmack, welcher wohl für gewöhnlich als alkalisch bezeichnet wird, obwohl schon Volta denselben als etwas alkalisch, scharf herb (acre), sich dem bitteren nähernd beschrieb, und obwohl derselbe von verschiedenen Forschern auch anders bezeichnet wurde. Diese beiden Empfindungen dauern so lange fort, als der Strom anhält und die Zungenbewegungen zwischen beiden Elektroden haben keinen Einfluss, wenn dabei der Contact nicht vollständig aufgehoben wird.

Vor Kurzem habe ich[1] über diesen Gegenstand einige Beobachtungen veröffentlicht. Aus denselben geht hervor, dass die elektrische Reizung meiner Zungenspitze gar keine Geschmacksempfindung erzeugt. Diese Erfahrung ergänzt die oben S. 157 mitgetheilte Wahrnehmung, dass meine Zungenspitze die Geschmäcke nur unvollkommen percipirt. Es wurden weiter Beobachtungen über elektrische Geschmäcke mitgetheilt, wie solche von einer Person, die an der Zungenspitze eines guten Geschmackes sich erfreut, wahrgenommen wurden. Die Reizung geschah mit einem Batteriestrom. Lag die Kathode auf der oberen Fläche der Zungenspitze, so fehlte bei schwachen Strömen nicht selten die Empfindung, bei stärkeren Strömen hingegen wurde dieselbe meistens als metallisch, metallisch zusammenziehend, säuerlich metallisch, metallisch bitterlich bezeichnet. Lag dagegen die Anode auf der oberen Fläche der Zungenspitze, dann

---

nismus. Weimar 1798. Derselbe, Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus der Volta'schen Batterie. Zweiter Brief, Wirkung des Galvanismus der Volta'schen Batterie auf menschliche Sinneswerkzeuge in Gilbert's Ann. d. Physik VII. S. 448. Halle 1801. Derselbe, Neue Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus. Zweiter Brief in Gilbert's Ann. d. Physik XIX. Halle 1805. Derselbe, Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. II. 2. Stück. Jena 1802 und II. 3. 4. und letztes Stück. Jena 1805.

Ausser den eben erwähnten Autoren haben sich noch andere mit diesem Gegenstande beschäftigt und wir geben in Folgendem der Vollständigkeit wegen die Titel der Veröffentlichungen: (1792) Auszug aus einem Brief des Herrn Lichtenberg an den Herausgeber. Gren's Journ. d. Physik VI. S. 414. Leipzig. — (1793) Robinson in einem Brief datirt Edinburg 28. May 1793 in A. Monro u. R. Fowler's Abhandlung etc. S. 174. — (1794) Kielmayer, Versuche über die sogenannte animalische Elektricität. Gren's Journ. d. Physik VIII. S. 65. Leipzig. — (1800) Lehot, Theorie des einfachen Galvanismus gegründet auf neue Versuche. Gilbert's Ann. d. Physik IX. Halle 1801. Diese Arbeit wurde zuerst im December 1800 im National-Institute vorgelesen und im Journ. de Phys. IX. p. 135 gedruckt. — Carradori von du Bois-Reymond I. S. 339 citirt.

1 M. v. Vintschgau. Beiträge zur Physiologie des Geschmackssinnes II. Theil. Arch. f. d. gesammte Physiologie XX. S. 81.

wurde auch bei schwachen Strömen eine Geschmacksempfindung wahrgenommen. Die Empfindung an der Anode wurde als säuerlich, säuerlich metallisch, säuerlich bitterlich, metallisch bezeichnet. — Ich habe auch Beobachtungen über die elektrische Reizung meines Zungengrundes in der Gegend der Pap. circumv. und Pap. fol. mitgetheilt. Diese Versuche ergaben: bei Anlegung der Kathode am Zungengrunde war die Empfindung bald nicht deutlich, bald leicht stechend oder prikelnd, bald schwach säuerlich, bald säuerlich prikelnd oder stechend, bald bitterlich metallisch; dagegen bei Anlegung der Anode an den Zungengrund wurde die Empfindung bald als schwach säuerlich metallisch, bald als metallisch-bitterlich-säuerlich bezeichnet. Sie fehlte aber auch in jenen Fällen niemals, in welchen bei entgegengesetzter Richtung, aber derselben Intensität des Stromes gar keine Empfindung auftrat.

Ritter (Neue Versuche etc. cit. S. 182), welcher die Reihe der Bearbeiter dieses Gegenstandes am Ende des vorigen und im Beginne dieses Jahrhunderts schliesst, gibt an (S. 8), dass bei starker Wirkung des Stromes der gewöhnlich am positiven Pole auftretende saure Geschmack „durch einen wahrhaft mittelsalzigen am besten mit dem „des Kochsalzes zu vergleichenden Geschmack in einen bitteren bren-„nenden alkalischen", übergehe, auch der alkalische Geschmack am negativen Pole gehe mit steigender Wirkung in einen immer stärker werdenden sauren über; und an einem anderen Orte [(Beiträge etc. cit. S. 182) S. 161] sagt er, dass der saure Geschmack am positiven Pole mit der Trennung in einen bitteren alkalischen, der alkalische Geschmack am negativen Pole aber mit der Trennung in einen sauren Geschmack übergehe. Rosenthal[1] konnte niemals die Umkehrung des Geschmackes bei Oeffnen des Stromes, von welcher Ritter spricht, wahrnehmen, er beobachtete bloss, dass nach der Oeffnung des Stromes der saure Geschmack kurze Zeit fortdauerte, der alkalische dagegen schnell verschwand.

Von meiner Seite (cit. S. 182) haben die Beobachtungen Ritter's über die Umkehrung des Geschmackes beim Oeffnen des Stromes einigermaassen eine Bestätigung erhalten. Einerseits beobachtete ich an mir selber, dass wenn die Kathode auf dem Zungengrunde lag, im Moment des Oeffnens der vorwiegend säuerliche Geschmack in einen schwach metallischen überging. Andererseits wurde mir von einer zweiten Person, bei welcher ich Versuche an der Zungenspitze anstellte, angegeben, dass bei Unterbrechung sowohl der einen wie

---

1 J. Rosenthal in Berlin, Ueber den elektrischen Geschmack. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860. S. 217.

der anderen Stromesrichtung ein Nachgeschmack bemerkbar sei, der entweder als deutlich metallisch, wenn der ursprüngliche säuerlich metallisch war, oder als Verstärkung des ursprünglichen metallischen bezeichnet wurde. Eine Umwandlung aber des metallischen in einen säuerlichen Geschmack wurde niemals wahrgenommen.

Die Geschmacksempfindungen, welche bei der elektrischen Reizung der Zunge entstehen, werden von den Forschern meistens sehr verschiedenartig beschrieben. Ein Grund der im Allgemeinen weniger übereinstimmenden Bezeichnungen liegt sehr wahrscheinlich darin, dass nicht bloss die Geschmacks-, sondern auch die Gefühlsnerven gleichzeitig gereizt werden, so dass die Empfindung aus Geschmacks- und Gefühlsempfindung gemischt ist. Schon HUMBOLDT [(cit. S. 181) S. 318] hat auf diesen Umstand aufmerksam gemacht, später auch VOLTA (II parte II S. 122) als er die Versuche mit seiner Säule wiederholte, indem er angibt, dass man nicht allein eine Geschmacksempfindung habe; und bei näherer Betrachtung der Ergebnisse der Versuche von PFAFF (cit. S. 181) von MONRO (cit. S. 181) und anderen kann man kaum den Gedanken unterdrücken, dass in vielen Fällen nicht so sehr eine Geschmacks- als vielmehr eine Gefühlsempfindung beschrieben wird.

Eine wichtige Frage ist es, ob die Geschmacksempfindung von einer unmittelbaren Reizung der Geschmacksnerven durch den elektrischen Strom oder ob dagegen dieselbe von den Zersetzungsproducten (Anionen) der Mundflüssigkeit herrühre. Bekanntlich werden, wenn ein elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit geht, welche Salze der Alkalien enthält — und die Mundflüssigkeit, welche die Zungenschleimhaut durchfeuchtet, ist eine solche — die Salze in der Art zersetzt, dass die Säuren an der Anode, die Alkalien aber, welche sich alsogleich oxydiren, an der Kathode frei werden. Das Vorhandensein freier Säuren an dem positiven, freien Alkalis an dem negativen Pole würde auf eine sehr leichte Weise den sauren Geschmack im ersten, den alkalischen im zweiten erklären.

Schon HUMBOLDT [(cit. S. 181) S. 321] hat, obwohl nicht in der angegebenen Weise, diese Vermuthung ausgesprochen.

HUMBOLDT sagt wörtlich: „Wie wenn der VOLTA'sche Zungenversuch „nur insofern die Geschmacksorgane afficirte, als er jene Secretion in „den Flocken veranlasst? Wie wenn wir nicht das galvanische oder „elektrische Fluidum selbst, sondern nur den durch die veränderte „Thätigkeit (Vita propria) der Gefässe abgesonderten Saft schmeckten?"

Die Einwendung konnte aber erst nach der Entdeckung der Elektrolyse die oben angeführte bestimmte Form annehmen.

Nach der Analogie mit der Erregung des Opticus durch den elektrischen Strom könnte man schon a priori schliessen, dass die Empfindungen bloss eine Folge der direkten Reizung der Geschmacksnerven sind und man würde sich so ausserdem noch mit dem allgemeinen physiologischen Gesetz in Uebereinstimmung befinden, dass nämlich die specifisch sensitiven Nerven auf alle Reize ihrer specifischen Energie gemäss antworten.

Wir besitzen aber auch Versuche, welche geeignet sind, die eben angeregte Frage zu beantworten. Du Bois-Reymond [(cit. S. 181) S. 287] führt die Versuche Volta's und Monro's an, um zu beweisen, dass der Geschmack nicht von der Elekricität abhängt.

Der erste Versuch Volta's (II parte II S. 5), welcher zu diesem Behufe angeführt werden kann, und auch von Pfaff (Gehler's physik. Wörterb. etc. cit. S. 181) schon angeführt wurde, ist folgender: Ein zinnerner Becher wird mit mässig starker Lauge (lisciva discretamente forte) gefüllt, mit beiden angefeuchteten Händen gehalten und die Zungenspitze in die Flüssigkeit eingetaucht: man hat augenblicklich einen sauren Geschmack, welcher für einige Zeit anhält, sich aber dann allmählich in einen alkalischen umwandelt. — Dieser Versuch wurde nicht bloss von Pfaff (l. c.), sondern auch in neuester Zeit von Rosenthal (cit. S. 183) mit gleichem Erfolge wiederholt.[1] Wenn nun der saure Geschmack von der Elektrolyse der Mundflüssigkeit abhängen würde, so könnte derselbe in diesem Falle nicht auftreten, da die ausgeschiedene Säure augenblicklich durch das Alkali in dem zinnernen Becher neutralisirt werden müsste.

Der zweite Versuch Volta's (II parte I S. 198), welcher ebenfalls von Du Bois-Reymond (l. c.) zu diesem Zweck angeführt wird, ist folgender: Es wird eine Kette von vier Personen folgendermaassen gebildet: die erste Person hält in der einen angefeuchteten Hand eine Zinkplatte und legt die Finger ihrer anderen Hand auf die Zungenspitze der zweiten Person. Diese berührt mit einer ihrer Hände den Bulbus der dritten Person. Letztere wieder, sowie die vierte fassen mit feuchter Hand einen zubereiteten Frosch in der Art, dass die eine den Kopf die andere die Füsse hält; in der zweiten ebenfalls angefeuchteten Hand hält die vierte Person eine Silberplatte. In dem Moment wo die Zinkplatte der ersten mit der Silberplatte der letzten Person zur Berührung gebracht werden, entsteht auf der Zungenspitze der zweiten Person ein saurer Geschmack, im Auge der dritten ein Lichtblitz und die Froschschenkel zucken ziemlich heftig.

1 Heydenreich (siehe die Citation S. 187[1]) hat diesen Versuch Volta's nicht bestätigen können.

MONRO's [(cit. S. 181) S. 25] Versuch besteht darin, dass durch zwei dicke Stücke von rohem oder gekochtem Fleisch, welche man zwischen Zink und Zunge einerseits und zwischen Silber und Zunge andererseits einschaltet, die Entstehung einer unangenehm stechenden Empfindung im Moment der Berührung der beiden Metalle nicht gehindert wird. — Dieser Versuch von MONRO ist aber nicht hinreichend beweisend, da er nicht von einer Geschmacksempfindung, sondern bloss von einer unangenehm stechenden Empfindung spricht, und man könnte somit leicht vermuthen, dass MONRO mit seiner Zungenspitze nicht schmeckte, sondern bloss eine Gefühlsempfindung hatte.

ROSENTHAL (cit. S. 183) hat einige Versuche vorgenommen, welche geeignet sind zu beweisen, dass der elektrische Geschmack nicht von der Zersetzung der Mundflüssigkeit abhängt. ROSENTHAL liess zwei Personen sich mit der Zungenspitze berühren, die eine hielt mit feuchter Hand den positiven, die andere ebenfalls mit feuchter Hand den negativen Pol einer Kette: die erste Person hatte einen alkalischen die zweite einen sauren Geschmack. In diesem Falle befinden sich beide Personen unter ganz gleichen Bedingungen bis auf die Richtung des Stromes in ihren Zungen, dieser ist in beiden entgegengesetzt und beide haben entgegengesetzte Empfindungen, obgleich ihre Zungen sich berühren und somit dieselbe capilläre Flüssigkeitsschicht die eine wie die andere Zunge bedeckt. — Ausserdem hat ROSENTHAL durch den Körper und durch die Zungenspitze den Strom einer aus 1 bis 4 Elementen bestehenden DANIELL'schen Kette circuliren lassen, jedoch in der Art, dass beide Pole aus Zinkplatten bestanden und in zwei mit Zinkvitriollösung gefüllte Gefässchen tauchten; diese standen durch heberförmige Röhren mit zwei anderen Gefässen in Verbindung, von denen das eine mit gesättigter Kochsalzlösung, das andere mit destillirtem Wasser gefüllt war. Aus letzterem ragte ein ebenfalls mit destillirtem Wasser getränkter Fliesspapierbausch hervor. Wurde nun die eine Hand in die Chlornatriumlösung getaucht und mit der Zungenspitze der Fliesspapierbausch berührt, so ging der Strom entweder von der Zunge zum Bausch oder umgekehrt, was man durch einen im Kreise befindlichen Stromwender in seiner Gewalt hatte. Auf den Papierbausch wurde ein Stückchen blaues und ein Stückchen rothes Lakmuspapier derart gelegt, dass die Zunge beide berührte, das rothe Papier wird bei der Berührung mit der alkalischen Mundflüssigkeit schwach gebläut, das blaue bleibt unverändert. Beim Schliessen des Stromes entsteht eine deutliche Geschmacksempfindung aber die Farbe der beiden Papierchen bleibt unverändert, mag nun der Strom in der einen oder in

ler anderen Richtung hindurchgehen.[1] Dieser Versuch zeigt, dass an der Grenze von Zunge und Wasser keine merkliche Spur Säure oder Alkalis frei wird. Der Papierbausch wurde statt mit Wasser auch mit eigenem Speichel getränkt und der Geschmack wurde wie vorher empfunden. Die angeführten Versuche beweisen, dass der elektrische Geschmack nicht von der Elektrolyse der Mundflüssigkeit abhängt, und dass wir es hier wie beim Auge mit einer unmittelbaren Wirkung des elektrischen Stromes auf die Geschmacksnerven zu thun haben.

Gegen den Versuch von ROSENTHAL mit Reagenspapier wurde von VALENTIN [(cit. S. 166) 2. Th., S. 287] das Bedenken erhoben, derselbe beweise nur dass das Reagenspapier weniger empfindlich als die Nerven wirke, nicht aber dass alle Spur elektrolytischen Einflusses beseitigt sei. VALENTIN hebt noch hervor, dass durch den elektrischen Strom niemals die Empfindung des gesalzenen oder die reine Geschmacksempfindung des Süssen oder des Bitteren hervorgerufen werde, und endlich bemerkt er, dass es nicht möglich sei, die Zunge in den Kreis einer Batterie ohne Empfindung einzuschleichen, in allen Fällen werden die Empfindungen des sauren und des alkalischen erzeugt.

HERMANN[2] hat angedeutet, dass auch an den Grenzen zweier feuchter Leiter und speciell zwischen Nerveninhalt und Hülle Elektrolyten abgeschieden werden können und dass deshalb das Auftreten einer Geschmacksempfindung bei einem Strome, welcher der Zunge nicht durch Anlegen von Metall, sondern durch Vermittlung feuchter Leiter zugeführt wird, nicht im Stande sei, die Deutung zu widerlegen, dass der elektrische Geschmack vom Schmecken der Elektrolyten abhänge.

Es muss aber bemerkt werden, dass der Nachgeschmack, nach Unterbrechung des Stromes, welcher zuerst von RITTER beobachtet und von mir (cit. S. 182) wenigstens theilweise bestätigt wurde, benützt werden kann um zu beweisen, dass der elektrische Geschmack auf einer direkten Erregung der Geschmacksnerven beruht.

---

1 HEYDENREICH, Froriep's neue Not. VIII. S. 34. 1848; citirt nach E. H. WEBER, Tastsinn und Gemeingefühl in Wagner's Handwörterbuch etc. III. 2. Abth. Derselbe hatte schon früher, wie ROSENTHAL anführt, einen ähnlichen Versuch vorgenommen, dabei aber Folgendes beobachtet: „Während . . . der saure Geschmack empfunden „wurde, wurde zugleich das blaue Lackmuspapier blässer; dass es sich röthete, ver„hinderte die alkalische Beschaffenheit der Mundflüssigkeit. Das rothe Lackmus„papier aber wurde schnell blau und zwar viel schneller, als wenn die galvanische „Säule nicht geschlossen war, wo es in längerer Zeit durch die schwache Alkalescenz „der Säfte des Mundes allerdings auch blau, aber schwächer blau wurde.

2 HERMANN, Grundriss der Physiologie des Menschen. 4. Aufl. Berlin 1872 und dieses Handbuch II. 1. Th. 2. Cap. b. S. 54 und folg.

Zum Schlusse sei noch eine Angabe Elsässer's (cit. S. 147) angeführt, der zu Folge die Geschmacksempfindung eine stärkere ist, wenn das eine Metall auf die Pap. circumvallatae oder die Spalten am hinteren Theil des Zungengrundes (Pap. foliata der neuen Autoren) gelegt wird. Diese Beobachtung wurde von mir (l. c.) bestätigt.

II. Mechanische Reize.

Ob die Geschmacksnerven auch von mechanischen Reizen erregt werden, ist noch immer fraglich. J. Müller hat sich an verschiedenen Orten seiner Physiologie (cit. S. 164) über diesen Gegenstand ausgesprochen und S. 489 sagt er, dass die Erregung von Geschmack durch eine mechanische Veränderung der Geschmacksnerven sich nicht als unmöglich ansehen lässt; Druck, Zerrung, Stechen, Reiben der Zunge erregen zwar nur Gefühlsempfindungen; Henle[1] aber beobachtete, dass ein feiner Luftstrom einen kühlenden salzigen Geschmack wie von Salpeter bewirke, und J. Müller macht darauf aufmerksam, dass mechanische Reizung des Schlundes und Gaumens die Empfindung des Ekels erregt, die nicht dem Gefühl, wohl aber dem Geschmack so verwandt ist, dass sie davon nicht getrennt werden kann. — Valentin, welcher früher (cit. S. 177) angab, dieselbe Beobachtung gemacht zu haben, hat diese Behauptung später (Lehrbuch etc. cit. S. 156 und Versuch etc. cit. S. 166) zurückgenommen und sich dahin ausgedrückt, dass bei dem Versuche Henle's „eine sensible Empfindung von dem Urtheil willkürlich ausgelegt wird". — Stich[2] gibt an, den Versuch Henle's wiederholt zu haben. Er hatte wohl die Empfindung des Kühlen, welche dem Gebiete des Gefühls angehört, niemals aber jene des Salzigen.

Bezüglich der Erregung des Geschmacksnerven durch Druck findet man in der Literatur nur sehr spärliche Angaben.

Valentin [(cit. S. 177) S. 117] führt an, dass er durch starken Druck auf die Zunge einen alkalischen Geschmack vorzugsweise in dem vorderen Theil der Zunge wahrgenommen habe, und dass beim Nachlassen des Druckes ein saurer dem der Weinsteinsäure ähnlicher Geschmack entstanden sei; später hat jedoch Valentin [Versuch etc. (cit. S. 166) 2. Theil S. 248] diese Angabe zurückgenommen, da er ausdrücklich sagt, dass es ihm nicht gelungen sei, durch Zusammendrücken der

1 Ich konnte nicht ermitteln, an welchem Orte Henle seine Beobachtung veröffentlichte.

2 A. Stich, Ueber das Ekelgefühl. Annalen des Charité-Krankenhauses etc. 8. Jahrg. 2. Hft. S. 22ff Berlin 1858.

Zungenwurzel eine Geschmacksempfindung zu erzeugen. An einem früheren Ort jedoch (Lehrbuch etc. cit. S. 156) führt VALENTIN an, dass manche Menschen das Gefühl, welches ein leichter Druck erregt, mit einem schwach bitterlichen Geschmacke vergleichen.

WAGNER [(Lehrb. etc. cit. S. 156) S. 339] erwähnt unter anderem, dass ein unbestimmt bitteres Gefühl mit einem deutlichen bitteren Nachgeschmack erhalten wird, wenn man die Zungenbasis mit dem trockenen Finger niederdrückt, wobei sogleich ein Uebergang in Ekelgefühl stattfindet und Würgen eintritt. Diese Beobachtungen sind, weil sie, wie wir gesehen haben, von VALENTIN später anders gedeutet wurden, meistens mit Stillschweigen übergangen worden; die Beobachtung WAGNER's ist jedoch leicht zu bestätigen. Ich konnte bei mir selbst und bei einem anderen, der nicht wusste, um was es sich handelte, eine ganz ähnliche Beobachtung machen; das Würgen trat immer bedeutend später ein; der Finger wurde selbstverständlich vorher gut gewaschen.

DR. BALY[1] gibt an, dass wenn man die Zungenspitze oder die Ränder in der Nähe der Spitze rasch aber leise mit dem Finger klopft (strike), so dass bloss die Papillen gereizt (affect) werden, eine deutliche bald saure bald salzige Geschmacksempfindung entsteht, welche ähnlich der bei der elektrischen Reizung ist. Die so erregte Empfindung dauert manchmal noch mehrere Sekunden nach der Application des mechanischen Reizes fort.

III. Thermische Reize.

Thermische Reize sind nicht im Stande die Geschmacksnerven zu erregen; wir haben wenigstens bis jetzt keine Erfahrung, welche dafür spräche, und die tägliche Beobachtung zeigt uns nichts Aehnliches; wir werden später sehen, dass Kälte und Wärme die Erregbarkeit der Geschmacksnerven vermindert.

IV. Der specifische Reiz.

Der adäquate, der specifische Reiz für den Geschmackssinn sind die schmeckbaren Substanzen.

Beim Lichte hängt die Farbe von der Schwingungszahl ab, die Höhe eines Tones beruht ebenfalls auf die Schwingungszahl, von welcher Be-

---

1 Dr. BALY, Translation of MÜLLER's Physiology S. 1062 note, citirt nach CARPENTER's Taste in Todd, The Cyclopaedia of Anatomy and Physiology IV. Part II. London 1849—1852.

dingung aber der Geschmack der verschiedenen schmeckbaren Substanzen abhängt, ist uns völlig unbekannt. Wir kennen wohl einige Bedingungen, welche erfüllt sein müssen, damit eine Substanz die Geschmacksorgane errege, jedoch auch in dieser Beziehung sind unsere Kenntnisse höchst mangelhaft. — Nur jene Substanzen, welche an und für sich flüssig, oder in einem Menstruum oder in der Mundflüssigkeit, wenn auch nur in sehr geringem Grade, löslich sind, können die Geschmacksorgane erregen, es muss aber auch alsogleich hinzugefügt werden, dass nicht alle flüssigen oder löslichen Substanzen als solche auch einen Geschmack besitzen, ja wir kennen eine ganze Reihe von Flüssigkeiten und von löslichen Substanzen, welche ganz geschmackslos sind; absolut unlösliche Substanzen aber sind ohne Ausnahme vollkommen geschmackslos. Doch steht die Geschmacksfähigkeit einer Substanz mit ihrer Löslichkeit in keinem bestimmten Verhältnisse. Es gibt Substanzen, welche z. B. leicht löslich sind und doch nur einen geringen Geschmack besitzen, andere, welche schwer löslich sind und doch sehr intensiv schmecken. Dass aber die Löslichkeit einer Substanz eine unumgängliche Bedingung ihrer Geschmacksfähigkeit sei, erhellt auch daraus, dass die inneren Zellen der Schmeckbecher, welche die eigentlichen Endigungen der Geschmacksnerven sind, so verborgen liegen, dass eine Substanz zu denselben nur dann gelangen kann, wenn dieselbe aufgelöst ist. Wir werden später (siehe unten S. 196) noch untersuchen, ob die Gase für sich schmeckbar sind. Wie die Nervenendigungen von den schmeckbaren Substanzen erregt werden, ist uns unbekannt. Wir müssen aber sagen, dass die Wirkung der Geschmackstoffe auf die Nervenenden eine sehr verschiedene sein muss, je nach dem Geschmack, den sie erregen und haben deshalb nun zu untersuchen, wie viele Arten von Geschmäcken unterschieden werden können.

1. *Eintheilung der Geschmäcke.*

Die Aufstellung von Geschmacksgruppen stösst noch immer auf Schwierigkeiten, weil man unter den Physiologen noch nicht einig ist, ob gewisse Substanzen, welche im gewöhnlichen Leben als schmeckbar bezeichnet werden, wirklich auf den Geschmackssinn wirken, oder ob man es in vielen Fällen nicht vielleicht mit einem blossen Gefühls- oder Geruchseindruck zu thun habe, weil ferner auch in einigen Fällen der Begriff einer Geschmacksbezeichnung nicht vollkommen sicher fixirt ist. So lange solche principielle Fragen nicht entschieden sind, wird auch die Eintheilung der Geschmäcke auf keiner sicheren Grundlage beruhen.

In HORN's Abhandlung (cit. S. 155) findet man die Angaben früherer Physiologen (BRAVO, WILLIS, LINNÉ, HALLER, LUCHTMANS) über die Eintheilung der Geschmäcke angeführt. HORN selbst hat auch eine solche Eintheilung versucht.

CLERICUS[1] hat nur drei Geschmäcke, nämlich süss, bitter und sauer, unterschieden. — ZENNECK[2] ist aber am weitesten von Allen in der Beschränkung der Zahl der Geschmäcke gegangen, da er bloss zwei Empfindungen, die des Bitteren und die des Süssen als wahre Geschmäcke betrachtet, während er die Wahrnehmung des Saueren, Salzigen und Laugenartigen bloss zu den Gefühlsempfindungen und durchaus nicht zu den Geschmäcken gezählt wissen will.. Eine ähnliche Ansicht wird auch von VALENTIN (cit. S. 156 u. 166) und DUVAL[3] vertreten.

Unter den neueren Physiologen haben G. INZANI und F. LUSSANA (Sui nervi etc. cit. S. 173) versucht die Geschmäcke zu classificiren.

Die Grundlage ihrer Classification ist die physiologische Bestimmung der schmeckbaren Substanzen, ob dieselben nämlich als Nahrungsmittel dienen oder nicht. Eine solche Hauptgrundlage ist gewiss unstatthaft, sobald es sich um Eintheilung von Geschmäcken und nicht um eine Eintheilung der Substanzen handelt. Wollten wir auch diese Haupteintheilung im Principe zulassen, so könnten wir uns doch in keinem Falle mit den von diesen Physiologen aufgestellten einzelnen Arten von Geschmacksempfindungen einverstanden erklären, denn unter denselben finden wir einen mehligen, milchigen, fettigen, weinigen, aromatischen etc. Geschmack aufgeführt, von welchen einige gewiss gar nichts mit dem Geschmackssinn zu thun haben.

Die meisten Physiologen haben im Allgemeinen nur vier Hauptgeschmäcke angenommen, nämlich den süssen, den bitteren, den salzigen und den sauren und von jeder weiteren Eintheilung der Geschmäcke vollkommen abgesehen.

Man hat aber schon häufig die Frage aufgeworfen, ob das Saure als ein Geschmack anzusehen ist; diese Frage wurde sehr verschiedenartig beantwortet.

VALENTIN [(cit. S. 177) S. 117] hat das Saure, das Salzige und das Alkalische aus der Geschmacksreihe ausgeschlossen und nimmt bloss das Süsse und das Bittere; er stimmt, wie wir früher gesehen haben, mit ZENNECK (l. c.) überein; und auch an einem anderen

1 JOANNIS CLERICI, Physica sive de rebus corporibus libri II posteriores. Operum philosophicorum IV. Ed. quinta auctior et adcuratior. Amstelodami 1722.

2 ZENNECK, Die Geschmackserscheinungen. Repertorium für die Pharmacie von Dr. BUCHNER LXV oder 2. Reihe XV. S. 224 ff. Nürnberg 1839.

3 DUVAL, Nouveau dictionnaire de Médecine et de Chirurgie pratiques etc. XVI. Paris 1872. Goût S. 530 ff.

Orte hat Valentin [(cit. S. 166) 2. Th. S. 112—113] erwähnt, dass die Empfindung des Sauren keine reine Geschmacks-, sondern vorherrschend eine Tastempfindung sei. An diesem Orte spricht er wohl von süssem und bitterem Geschmack, nicht aber von einem salzigen; auch schon früher in seiner Physiologie [(cit. S. 156) S. 293] hat Valentin bloss das Süsse und das Bittere als reine Geschmäcke angesehen. — Stich[1] betrachtet das Saure als eine wirkliche Geschmacksempfindung, da Säuren nur an Geschmack vermittelnden Stellen und zwar an allen ohne Unterschied empfunden werden. — Schiff [(Leçons etc. cit. S. 171) S. 81] hat diese Frage einer eingehenderen Prüfung unterworfen. Auf eine durch Blasenpflaster erzeugte Wunde legte er verschiedene schmeckbare Substanzen (Limonade — Limonade citrique —, Zucker, schwefelsaures Chinin), welche wohl leichte Unterschiede in der Empfindung hervorriefen, die aber nicht die geringste Aehnlichkeit mit einer Geschmacksempfindung hatten. Von grösserer Bedeutung ist aber die Bemerkung Schiff's, dass auch eine sehr verdünnte Säure, welche in der Zungenschleimhaut keine nennenswerthe Veränderung hervorruft, doch von dem Geschmackssinn sehr deutlich wahrgenommen wird. Von geringer Wichtigkeit dagegen ist dessen Angabe, dass keine Speichelsecretion eintritt, wenn man den centralen Stumpf mit einer verdünnten Säure reizt, während Speichelsecretion sich zeigt, wenn derselbe Stumpf mechanisch erregt wird. Diese Versuche beweisen nur, dass chemische auf den centralen Stumpf der sensitiven Nerven wirkende Reize nicht im Stande sind, eine reflectorische Speichelsecretion hervorzurufen oder mit anderen Worten, dass die angewendeten chemischen Reize zu schwach waren, um einen solchen Effect zu Stande zu bringen.

Fick[2] betrachtet die Empfindung des Sauren als eine wirkliche Geschmacksempfindung, und nur dann, wenn die Säuren in etwas concentrirterer Lösung angewendet werden, können sie auch die Empfindungsnerven erregen. — Brücke[3] nimmt an, dass die Geschmacksempfindung des Sauren immer von einer Gefühlsempfindung begleitet sei. — In einer vor Kurzem veröffentlichten Schrift habe ich[4] diese Frage näher erörtert. Die Citronensäure auf meine Zungenspitze gebracht, wird von mir erkannt, aber an den Zungenrändern, an welchen ich, wie oben S. 157 erwähnt, keine Geschmacks-

1 A. Stich, Ueber die Schmeckbarkeit d. Gase. Annalen des Charité-Krankenhauses etc. 8. Jahrg. 1. Hft. S. 105 ff. Berlin 1857.

2 Fick, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane. Lahr 1864.

3 Brücke, Vorlesungen über Physiologie. 2. Aufl. Wien 1876.

4 M. v. Vintschgau, Beiträge zur Physiologie des Geschmackssinnes III. Theil. Arch. f. d. gesammte Physiologie XX. S. 225 ff.

fähigkeit besitze, ferner an der Unterfläche meiner Zungenspitze und an der inneren Fläche der Unterlippe erregt die Säure in verdünnter Lösung entweder gar keine oder bloss eine brennende Empfindung, welche mit einer Geschmacksempfindung nichts zu thun hat. Die Versuche NEUMANN's (cit. S. 153) mit elektrischer Reizung der Geschmacksnerven haben ergeben, dass die saure Empfindung nur an jenen Stellen vorkommt, mit welchen man schmeckt.

Aus dem Mitgetheilten können wir den Schluss ziehen, dass die Säuren die Geschmacksnerven erregen, jedoch bei concentrirteren Säuren auch die Gefühlsnerven in Mitleidenschaft gezogen werden; die Säuren gehören desshalb zu jenen Stoffen, die sowohl die Endigungen der Geschmacksnerven als auch jene der Gefühlsnerven erregen können.

Man kann ferner die Frage aufwerfen, ob das Salzige eine reine Geschmacksempfindung sei. CLERICUS, ZENNECK, VALENTIN, DUVAL (siehe oben S. 191) haben auch das Salzige nicht als eine Geschmacksempfindung gelten lassen. — SCHIRMER [(cit. S. 157) S. 131] hat angegeben, dass die vier Repräsentanten der Hauptgeschmäcke in concentrirter Lösung bei ihm eine Gefühlsempfindung erregen. Die Säuren, wie oben mitgetheilt, erregen gewiss in concentrirten Lösungen die Gefühlsnerven. Die Erfahrungen, die ich (cit. S. 192) für die salzigen Substanzen gesammelt habe, beweisen, dass Kochsalz an meiner Zungenspitze eine Gefühlsempfindung erregt, dass Jodkalium und Chlorammonium in concentrirten Lösungen nicht bloss den salzigen Geschmack, sondern ebenfalls auch eine Gefühlsempfindung verursachen und dass überhaupt viele Salze, wenn sie oft in concentrirter Lösung applicirt werden, eine eigenthümliche Gefühlsempfindung an der Zungenspitze zurücklassen. — Nach diesen Erfahrungen muss man schliessen, dass auch die meisten salzig schmeckenden Substanzen in verdünnten Lösungen bloss die Geschmacksnerven, in concentrirten aber auch gleichzeitig die Gefühlsnerven erregen. — Bisulphas Chinini und Zucker rufen auch in gesättigter Lösung, wenigstens nach den Erfahrungen, die ich zu machen Gelegenheit hatte, niemals eine Gefühlsempfindung hervor.[1]

Nach meiner Auffassung gehören das Bittere und das Süsse ausschliesslich zu den Geschmacksempfindungen; in zweiter Linie würde das Salzige kommen, weil sehr viele salzig schmeckende Substanzen erst in sehr concentrirten Lösungen die Gefühlsnerven erregen, und

---

1 Die saure Empfindung, welche Bisulphas chinini an meiner Zungenspitze hervorruft, kann nicht als Gefühlsempfindung gedeutet werden.

endlich das Sauere, weil alle Säuren schon in sehr mässiger Concentration die Gefühlsnerven erregen; noch weiter von einer reinen Geschmacksempfindung würden sich dann das Herbe, das Adstringirende etc. entfernen; auch das Laugenhafte ist keine reine Geschmacksempfindung. Es handelt sich da um eine ganz eigenthümliche Empfindung, bei welcher die Gefühlsnerven gewiss mitbetheiligt sind, in wie weit aber die Geschmacksnerven erregt werden, ist schwer zu entscheiden. Ebenso ist das Metallische eine Empfindung, die ungemein schwer zu analysiren ist. Auffallen muss jedoch, dass dieselbe so häufig bei der elektrischen Reizung der Zunge zu Stande kommt (vergl. S. 182 u. folg.).

Eine andere Frage ist, ob z. B. der süsse, der bittere Geschmack etc. sich noch weiter eintheilen lasse, ob es nämlich mit dem Geschmackssinn allein möglich ist, zwei oder mehr süsse oder bittere Substanzen etc. zu erkennen.

Wing[1] hat die ersten Beobachtungen in dieser Richtung und zwar mit süssen und bitteren Substanzen vorgenommen, er fand, dass eine Unterscheidung nicht möglich ist. — Guyot (cit. S. 157) gibt an, dass die bitteren Substanzen nicht auseinander gehalten werden können. — Ich habe ebenfalls einige diesbezügliche Versuche veröffentlicht (cit. S. 192). Die einzelnen rein bitter und rein süss schmeckenden Substanzen können, wenn sie auf eine beschränkte Stelle der Zunge applicirt werden, nicht aus einander gehalten werden; für die salzig schmeckenden Substanzen kann die Frage noch nicht als erledigt angesehen werden, denn bei ihnen müssen zwei Factoren in Betracht gezogen werden, einerseits nämlich die Concentration der Lösung, da wie schon erwähnt einige Salze in einer concentrirten Lösung auch auf die Gefühlsnerven einwirken und dadurch ihre Erkennung erleichtern, andererseits die Uebung, wodurch auch kleine sonst unbeachtet bleibende Geschmacksunterschiede wahrgenommen werden können. Bezüglich der Säuren liegen noch keine Erfahrungen vor.

Wenn die schmeckbaren Substanzen sich in der ganzen Mundhöhle verbreiten können, dann wird man leichter die einzelnen bitteren oder süssen Substanzen etc. erkennen, weil in diesem Falle eine ganze Reihe von Nebenumständen auftritt, welche das Urtheil unterstützen.

Wir wollen hier noch eine eigenthümliche Empfindung besprechen, nämlich den Ekel, der bald als eine Geschmacks- bald als eine Gefühlsempfindung betrachtet wurde.

1 B. F. Wing, Fonctions de la membrane pituitaire. Arch. géner. de Médecine XII. 2. Serie. p. 92. Paris 1836. Auszug aus The American Journ. No. 32.

Vernières (cit. S. 156) und vorzugsweise Flemming[1] haben die Reize aufgezählt, welche im Stande sind, Ekel zu erregen, sind aber auf den eigentlichen Kern der Frage nicht näher eingegangen; Flemming erwähnt nur, dass der Ekel seinen eigentlichen Sitz im Gaumen, Rachen und beim Anfange des Schlundkopfes zu haben scheine und derselbe die beginnende Vomituritio sei. Valentin (cit. S. 177) definirte den Ekel folgendermaassen: Taedium est saporis ingrati affectio, quam motus pharyngis reflexivi insequuntur. Diese Definition ist aber zu eng und Valentin selbst hat diess in so weit zugegeben, als er später (cit. S. 166) sich folgendermaassen aussprach: versteht man unter Ekel nur das unangenehme Gefühl, das der Genuss bitterer Substanzen erzeugt, so müsste man den N. glosso-pharyngeus als den ausschliesslichen Träger dieser Empfindung ansehen (Valentin hatte nämlich früher (cit. S. 177) angegeben, dass nach Durchschneidung des genannten Nerven bei Einwirkung bitterer Substanzen kein Erbrechen entstehe, wohl aber immer bei der mechanischen Reizung der Schleimhaut des Schlundkopfes); da aber auch andere Eindrücke, welche die Geschmackswerkzeuge vermitteln, ja sogar blosse mechanische Erregungen genügen, um den Ekel und die ihn begleitenden Reflexbewegungen hervorzurufen, so sei jene Einschränkung des Begriffes nicht genügend. Die Brechneigung, welche der Ekel hervorruft und begleitet, geht nach Valentin (cit. S. 166) vom verlängerten Marke aus. Der Anlass kann durch den N. glosso-pharyngeus und den N. trigeminus gegeben werden.

J. Müller (Handbuch etc. cit. S. 164) hat den Ekel als eine Geschmacksempfindung betrachtet.

Romberg[2] S. 305 sieht ebenfalls den Ekel als eine eigenthümliche Modification des Geschmackes an; diese Empfindung hat aber vor anderen Geschmacksempfindungen das voraus, dass sie sich durch blosse mechanische Reizung derjenigen Theile erregen lässt, worin Fasern des N. glosso-pharyngeus verbreitet sind; denn nur, wenn man der Zungenwurzel, den Pap. circumvallatis, dem Gaumensegel nahe kommt, entsteht die Empfindung des Ekels und eine bestimmte Reflexaction des Würgens.

Bidder (cit. S. 166) betrachtet die Empfindung des Ekels „weder als eine Energie des specifischen Geschmacksnerven noch der Tast- oder Gefühlsnerven“, sondern vielmehr als „ein eigenthümliches von dem gesammten Verdauungskanale aus bedingtes Gefühl“, weil der Ekel auch bei Reizungen im Magen und Darmkanal eintreten kann, ohne dass die Geschmacksnerven ins Spiel kommen; ausserdem bemerkt er, der Umstand, dass nach Durchschneidung des N. glosso-pharyngeus zugleich mit dem Geschmacke auch der Ekel verschwindet, beweise bloss, dass die Nervenfasern für beide Empfindungen in derselben Bahn verlaufen, nicht aber, dass beide Empfindungen identisch seien.

Stich (cit. S. 188) hat die uns beschäftigende Frage sehr eingehend erörtert, und reiht den Ekel zum Gemeingefühl ein, er beschränkt den Begriff Ekel bloss auf jene „Jedem bekannte und unverwechselbare Em-

---

1 Flemming, Ueber den Ekel. Med. Corresp.-Blatt d. wiss. Vereins f. Aerzte u. Apotheker. Mecklenburg 1843. Citirt nach Canstatt's Jahresber. 1843. I.

2 Romberg, Lehrbuch der Nervenkrankheiten des Menschen I. 2. Aufl. Berlin 1851.

pfindung, die dem Brechen vorhergeht und dasselbe begleitet" (vgl. oben FLEMMING). STICH trennt den Ekel von einer Sinnesempfindung und verlegt denselben in das Gebiet des Muskelgefühls, und zwar in eine ganz besondere Klasse des Muskelgefühls, nämlich in das Gefühl der Contractionen ganzer Muskelgruppen auf Reiz von centripetalen Fasern, oder sensibler, sensualer oder psychischer Centren. Das Einleiten einer antiperistaltischen Reflexbewegung ist nach STICH „etwas unveräusserliches für den Ekel" in der Art, dass nur jene mechanischen Reize der Zungenwurzel, des Gaumensegels etc., welche eine antiperistaltische Bewegung einleiten, Ekel verursachen; wird aber der Reiz durch Schluckbewegung entfernt, dann entsteht kein Ekel, wohl aber, wenn der mechanische Reiz fortdauert.

Wir glauben ebenfalls, dass der Ekel vollständig von den Geschmacksempfindungen zu trennen ist, können aber nicht zugeben, dass derselbe in das Gebiet des Muskelgefühls zu verlegen sei, da die Bewegungen, welche auf den Ekel folgen, bloss als Reflexerscheinungen aufzufassen sind.

2. *Schmeckbarkeit der Gase.*

Wir haben bis jetzt gesehen, dass nur Substanzen, welche in einem Menstruum löslich sind, auch die Fähigkeit besitzen, Geschmacksempfindungen zu erregen; es liegt uns aber auch die Pflicht ob, zu untersuchen, ob die Gase als solche geschmeckt werden können.

J. MÜLLER[1] S. 460 hat die Schmeckbarkeit der Gase angenommen und führt die schweflige Säure als Beispiel an. — VALENTIN[2] nimmt an, dass die Gase nur in so weit geschmeckt werden, als dieselben von der Mundflüssigkeit aufgenommen werden. — STICH (cit. S. 192) wieder vertheidigt die Ansicht, dass die Gase als solche schmeckbar sind; er machte seine Versuche mit Chloroform, Stickoxydulgas, Essigsäure, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure. STICH selbst hat die Einwendung erhoben, dass die Gase vom Speichel absorbirt werden und auf diese Weise auf die Geschmacksnerven einwirken können. Um diesen Einwand zu beseitigen, hatte er die ausgestreckte Zunge möglichst trocken abgewischt und liess dann auf den Zungenrand einen Strom Kohlensäure einwirken, er empfand sofort den eigenthümlichen süss-sauren Geschmack der Kohlensäure. Wasser und Speichel, welche bei gewöhnlichem Luftdruck mit Kohlensäure imprägnirt waren, schmeckten gar nicht sauer. — Es ist aber unmöglich zu denken, dass die Zunge so getrocknet worden sei, dass nicht wenigstens eine capilläre Flüssigkeitsschicht zurückgeblieben wäre und es ist weiter zu erinnern, dass die Stiftchen in den Schmeckbechern, welche als die ersten Angriffs-

1 J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen II. Coblenz 1837.
2 VALENTIN, Lehrb. d. Physiol. d. Menschen f. Aerzte u. Studirende II. 2. Aufl. 2. Abth. Braunschweig 1848.

punkte für die schmeckbaren Substanzen anzusehen sind, durchaus nicht frei hervorragen, sondern dass dieselben innerhalb des Porus sich befinden; abgesehen von der tieferen und verborgeneren Lage, in welcher sich die grösste Anzahl der Schmeckbecher befindet.

Ein Strom Kohlensäure, welcher über die feuchte Zunge streicht, lässt sich augenblicklich von einem Luftstrom unterscheiden, nicht weil der erste eine süss-saure Geschmacksempfindung erregt, sondern weil eine andere ganz eigenthümliche Empfindung entsteht, welche mit einer Geschmacksempfindung gar keine Aehnlichkeit hat.

Von den anderen Gasen, welche Stich anführt, wollen wir hier bloss die Chloroformdämpfe erwähnen, weil Stich behauptet, dass deren süssliche Geschmacksempfindung identisch sei mit jener Empfindung, die man hat, wenn man Chloroform riecht; man kann sich aber leicht überzeugen, dass dies nicht der Fall ist: wenn man Chloroform mit geschlossenem Munde riecht, wird man eine Geruchsempfindung haben, die ganz verschieden ist von jener Empfindung, die bald darauf entsteht, und welche einem deutlich süsslichen Geschmack entspricht.

Für uns steht somit, bis nicht andere Versuche das Gegentheil beweisen werden, fest, dass Gase als solche die Endigungen der Geschmacksnerven nicht erregen können; sie vermögen dies nur in so weit zu thun, als sie von der Mundflüssigkeit aufgenommen werden.

DRITTES CAPITEL.

Die Geschmackswahrnehmung.

I. Erregt eine schmeckbare Substanz an allen Stellen des Geschmacksorgans immer dieselbe Geschmacksempfindung?

Diese Frage wurde schon mehrere Male aufgeworfen, und wir besitzen darüber auch einige Versuchsreihen; allgemeine Gesichtspunkte sind aber aus diesen Versuchsreihen bis jetzt kaum gewonnen worden.

Am Ende des vorigen Jahrhunderts hat Daniels[1] eine Reihe Substanzen in dieser Richtung durchgeprüft und den allgemeinen Schluss

1 P. J. Daniels, Gustus organi novissime detecti Prodromus. Dissert. Moguntiae 1790.

gezogen, dass einige Geschmäcke an der Zungenspitze, andere im Schlunde deutlicher wahrgenommen werden, und dass speciell bittere Substanzen vorzugsweise auf den weichen Gaumen, weniger auf die Zungenspitze wirken. — AUTENRIETH [1], PH. WALTER nach EBLE [2], RUDOLPHI und K. F. BURDACH nach STICH's (cit. S. 188) Angaben haben ebenfalls die Meinung geäussert, dass das Süsse und das Saure vorzugsweise mit der Zungenspitze, das Bittere, das Scharfe und das Alkalische mehr mit der Zungenwurzel empfunden werden. Diese Angaben sind aber nur allgemeiner Natur und berühren eigentlich nicht die Frage, ob ein und dieselbe Geschmackssubstanz an zwei oder mehr verschiedenen Stellen der Zunge eine verschiedene Geschmacksempfindung erregt.

Wir müssen HORN (cit. S. 155) als denjenigen bezeichnen, welcher zuerst diese Frage einer umfangreichen experimentellen Prüfung unterworfen hat. HORN hat nicht weniger als 88 Substanzen geprüft, nach seiner Angabe waren dieselben chemisch rein, wir können aber die Bemerkung nicht unterdrücken, dass viele von HORN angewendete Substanzen nicht als genau definirte chemische Verbindungen, sondern als Gemenge zu betrachten sind, so z. B. die verschiedenen Extracte. — Es ist weiter zu erwähnen, dass HORN die Substanzen auf die Pap. filif., auf die Pap. fung., auf die Pap. circumv. und auf den weichen Gaumen applicirte. Die Versuche am weichen Gaumen lassen wir unberücksichtigt, bezüglich der Pap. filif. ist zu bemerken, dass dieselben mit dem Geschmackssinn nichts zu thun haben und ist desshalb zu vermuthen, dass HORN die Substanzen an der Zungenspitze prüfte, an welcher Stelle auch zahlreiche Pap. fung. vorkommen; demnach käme bei diesen Versuchen bloss die Einwirkung schmeckender Substanzen auf die Zungenspitze in Betracht. Diese Vermuthung ist um so mehr berechtigt, als HORN bezüglich der Pap. fung. sagt, dass in der Mitte seiner Zunge eine Anzahl von Pap. fung. vorkomme, welche von allen übrigen gänzlich getrennt stehen.

Ausserdem stimmen im Allgemeinen die Resultate an den Pap. filif. mit jenen überein, die man an der Zungenspitze für gewöhnlich erhält. Im übrigen sind die Versuche HORN's mit den nöthigen Vorsichten vorgenommen.

In der Tabelle [3] (siehe S. 199) sind einige Angaben HORN's enthalten. Hier wollen wir nur folgende Bemerkungen einfügen. An den Pap. circumv. haben fast alle Substanzen, mit sehr wenigen Aus-

1 J. H. F. AUTENRIETH, Handbuch der empirischen menschlichen Physiologie. III. Tübingen 1802.

2 BURKARD EBLE, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Anatomie und Physiologie vom Jahre 1800—1825. Wien 1836.

3 In der Tabelle sind bloss einige Angaben von HORN und PICHT, dagegen aber fast alle von GUYOT und alle von INZANI und LUSSANA aufgenommen.

Substanz	Horn		Picht		Guyot		Lussana und Inzani	
	Zungenspitze	Zungengrund	Zungenspitze	Zungengrund	Zungenspitze	Zungengrund	Zungenspitze	Zungengrund
Salzsäure	schwach säuerlich (sehr sauer)[1]	rein bitter	exigue acidule (valde acide)	amare	sauer	sauer	[2]	
Salpetersäure	bitter? (sehr sauer)	angenehm bitter	amare (valde acide)	suaviter amare	sauer	sauer		
Weinsteinsäure	0[3] (sauer)	fast bitter	0 (acide)	exigue amare	sauer	sauer		
Kleesäure	schwach sauer (sauer)	bitterlich	exigue acide (acide)	amariter			pikant	bitter
Ammoniak					süsslich fad	süsslich fad		
Kalkwasser					bitter	bitter		
Chlorkalium	alkalisch (salzig sauer	alkalisch			salzig und frisch	süsslich	frisch, salzig	süsslich
Schwefels. Natron[4]	säuerlich (sauer)	bitterlich, salzig	acidule (acide)	amariter salse	deutlich salzig	deutlich bitter	salzig	bitter
Schwefelsaure Magnesia	stechend (stechend)	metallisch	pungens (pungens)	metallice	schwach sauer und salzig	sehr bitter		
Schwefels. Zinkoxyd					frisch und pikant	süsslich, fad, metallisch		
Salpeters. Kali	alkalisch (säuerl.)	metallisch bitter	alcaline (acidule)	metallice amare	frisch und pikant	leicht bitter, fad	frisch, pikant	bitter, fad
Salpeters. Bleioxyd[5]	süss (sauer süss)	süsslich bitter	dulce (acide dulce)	dulcicule amare	frisch, pikant, styptisch	bloss süss	frisch, pikant, styptisch	süsslich
Einfach. kohlens. Natron	schwach salzig (säuerlich salzig)	bitterlich salzig	exigue salse (acidule salse)	amariter salse	salzig	deutlich bitter		
Essigsaures Kali					brennend sauer	bitter, fad, ekelhaft	brennend sauer, pikant	bitter, fad, ekelhaft
Alaun	0 (sauer süss)	bitterlich	0 (acidule dulce)	amariter	sauer, styptisch	süsslich ohne sauren Geschmack	sauer, frisch, styptisch	süsslich, nicht sauer
Schwefels. Chinin	bitterl. (schwach bitter)	bitter	amariter (exigue amare)	amare			pikant, sauer, frisch	sehr bitter

1 Die eingeklammerten Angaben beziehen sich auf die Pap. filiformes, oder wie im Text angeführt wurde, auf die Zungenspitze.

2 Die leeren Zeilen bedeuten, dass die Substanz nicht geprüft wurde.

3 Das Zeichen 0 bedeutet keine Geschmacksempfindung.

4 Horn und Picht haben sowohl das krystallisirte wie auch das zerfallene schwefelsaure Natron angewendet und mit beiden etwas verschiedene Resultate erzielt; Guyot und Inzani und Lussana machen darüber keine Angabe.

5 Horn und Picht haben salpetersaures Bleioxyd angewendet; Guyot und Lussana und Inzani essigsaures Bleioxyd. Guyot bemerkt, dass alle löslichen Bleisalze sich gleich verhalten.

nahmen einen bitteren oder bitterlichen Geschmack hervorgerufen. Diese beiden Adjektiva kommen fast immer entweder für sich allein vor oder in Begleitung anderer z. B. salzig, metallisch, stechend, scharf, säuerlich. Ja sogar der Zucker erzeugte auf den Pap. circumv. einen bitterlichen Geschmack. — Bei den Versuchen an den Pap. filif. kommen die Adjektiva sauer oder säuerlich für sich allein oder in Verbindung mit kühlend, salzig, metallisch, scharf, stechend, bitter, süss sehr häufig vor, jedoch weniger häufig als die Adjektiva bitter und bitterlich für die Geschmacksempfindungen an den Pap. circumv. — Bei den Versuchen endlich an den Pap. fung. finden wir alle Geschmäcke angeführt, ohne dass man sagen könnte, dass irgend einer vorherrschend wäre; dagegen aber werden mehrere Substanzen, welche an den anderen Papillen einen Geschmack verursachten, in Bezug auf die Pap. fung. als geschmackslos bezeichnet.

Picht (cit. S. 146) hat einige Jahre später die Beobachtungen Horn's wiederholt und wendete 75 Substanzen an, die schon von diesem untersucht wurden. Seine Angaben stimmen wörtlich mit jenen von Horn überein, auch er fand den Zucker an den Pap. circumv. „amariter dulce". In der Tabelle sind ebenfalls einige Angaben Picht's enthalten. Wir wollen nur noch bemerken, dass Picht kein Geruchsvermögen besass, und dass von ihm, da er mit dem weichen Gaumen nicht schmecken konnte, an diesem keine Versuche angestellt wurden.

Der nächste Forscher, welcher sich mit diesem Gegenstand befasste, ist Guyot (cit. S. 157). Dieser legte sich folgende zwei Fragen vor: 1) ob die schmeckenden Oberflächen ohne Unterschied alle Geschmäcke wahrnehmen? 2) ob ein schmeckbarer Körper in der ganzen Ausdehnung der Geschmacksfläche eine identische Geschmacksempfindung errege?

Wir wollen hier gleich bemerken, dass Stich (cit. S. 188) auf Grundlage der ihm bekannt gewordenen Meinungen der Physiologen erstere in zwei Gruppen theilte. Diese beiden Gruppen stimmen aber vollkommen überein mit den zwei Fragen, die sich Guyot vorgelegt hatte, und wir werden deshalb vor Allem die Angaben des letzteren näher berücksichtigen.

Auf die erste Frage antwortete Guyot mit der Beobachtung, dass er einige schmeckbare Körper fand, wie z. B. die Milch, die Butter, das Oel, das Brod, das Fleisch und eine grosse Anzahl anderer Nahrungsmittel, welche an dem vorderen Theil der Zunge nur eine Gefühlsempfindung, an dem hinteren Theil dagegen den charakteristischen Geschmack erregen. — Nun haben sowohl Schirmer

(cit. S. 157) als auch LONGET (cit. S. 158) die Bemerkung gemacht, dass die von GUYOT angeführten Substanzen nicht so sehr das Geschmacks- als vielmehr das Geruchsorgan afficiren und LONGET setzt noch hinzu, dass wenn man beim Geniessen derselben die Nase verschliesst dieselben als geschmacklos erscheinen. — Es ist wahrscheinlich zu weit gegangen, wenn man dies für alle kurz vorher nach GUYOT angeführten Substanzen behaupten wollte, einige derselben erregen gewiss auch die Geschmacksnerven.

Die zweite Frage wurde von GUYOT mit Anführung einer Reihe Substanzen beantwortet, welche er sowohl an dem vorderen als auch an dem hinteren Theil der Zunge auf ihren Geschmack prüfte. In der Tabelle sind einige der von GUYOT erhaltenen Resultate mitgetheilt. Aus seinen Versuchen lässt sich entnehmen, dass Säuren und Alkalien nur einen Geschmack besitzen, ebenso die grösste Anzahl der neutralen Körper, und dass fast alle Salze ihren sauren, salzigen, pikanten, styptischen Geschmack an der Zungenspitze, ihren bitteren, metallischen, basischen an dem hinteren Theil der Zunge verrathen; es existiren jedoch mehrere Ausnahmen, so z. B. das Kochsalz erregt überall bloss eine Empfindung, der Brechweinstein ist beinahe geschmacklos an der Zungenspitze, metallisch an der Zungenbasis.

Wenn man die angeführte Tabelle ansieht, so wird man bald bemerken, dass, wie schon erwähnt, die Angaben PICHT's mit jenen von HORN wörtlich übereinstimmen, und dass die Angaben LUSSANA's, von welchen später die Rede sein wird, mit jenen GUYOT's ebenfalls wörtlich übereinstimmen. — Die Säuren erregten bei allen Forschern an der Zungenspitze eine saure Empfindung, nur die Salpetersäure hat bei HORN und PICHT an den Pap. fung. einen bitteren Geschmack verrathen. HORN und PICHT fanden Salzsäure, Salpetersäure, Weinsteinsäure und Kleesäure an der Zungenbasis mehr oder weniger bitter; GUYOT gibt an, dass alle Säuren an der Zungenbasis sauer schmecken, DANIELS fand dort selbst den Weinessig und LUSSANA auch die Kleesäure bitter. — Auch bezüglich der Salze finden wir zwischen HORN und GUYOT nicht immer übereinstimmende Angaben, es ist aber überflüssig dieselben hier besonders hervorzuheben, dagegen wollen wir nun auf die Mittheilung der Beobachtungen anderer Autoren übergehen.

STICH (cit. S. 188) hat, wie schon oben bemerkt wurde, seine Aufmerksamkeit auch auf den uns gegenwärtig beschäftigenden Gegenstand gerichtet und gelangte auf Grund seiner mit KLAATSCH vorgenommenen Versuche zu dem Resultate, dass ein Geschmack auf

allen denselben vermittelnden Stellen die gleiche Erregung hervorruft, das Bittere wurde überall gleichmässig als bitter, das Sauere überall als sauer, das Süsse überall als süss empfunden. Stich findet es auch aus theoretischen Gründen sonderbar, dass Stoffe die auf einer bestimmten geschmacksvermittelnden Stelle einen bestimmten Geschmack haben, auf einer anderen solchen Stelle einen anderen Geschmack haben sollten.

Schirmer (cit. S. 157) spricht sich ebenfalls zu Folge eigener Beobachtungen gegen die Angaben Horn's und Picht's aus und zwar auf Grund der Annahme, dass wir unser Urtheil über einen Geschmack aus dem Gesammteindrucke aller von den Geschmacksträgern erhaltenen Empfindungen bilden und dass, wenn wir mit der Zungenwurzel allein über eine Geschmacksempfindung urtheilen sollen, aus mangelnder Uebung Irrthümer unterlaufen können. — Wir können uns aber mit dieser Ansicht Schirmer's nicht befreunden. Es ist unzweifelhaft, dass wenn wir eine Substanz kosten und über ihren Geschmack ein Urtheil fällen wollen, wir dasselbe nicht aus dem ersten Eindruck, sondern aus jenen Eindrücken schöpfen, welche die Substanz auf allen Theilen des Geschmacksorgans hervorruft, ja in solchen Fällen ziehen wir nicht bloss den Geschmacks- sondern auch den Geruchs- und den Gefühlssinn zu Rathe. Dies hat aber mit unserer Frage nichts zu thun. Die mangelnde Uebung am hinteren Theil der Zunge können wir ebenfalls nicht gelten lassen, weil gerade am Zungengrunde das Geschmacksorgan am meisten entwickelt ist und wir uns auch im gewöhnlichen Leben vorzugsweise auf die Aussage dieses Zungentheiles verlassen.

Inzani und Lussana (Sui nervi etc. cit. S. 173), welche in der Trennung der Geschmacksfähigkeit des vorderen und hinteren Theiles der Zunge bedeutend weiter als alle übrigen Physiologen gehen, geben auch an, dass ein und dieselbe Substanz auf der Zungenspitze Geschmacksempfindungen hervorruft, die verschieden sind von jenen, welche dieselbe Substanz am Zungengrund erregt. Sie führen auch als Beweis die Versuche mit den acht in unserer Tabelle (siehe S. 199) bezeichneten Substanzen an.

Wir haben hiermit erschöpft, was bis jetzt über diesen Gegenstand bekannt ist, denn die übrigen Physiologen haben sich darüber entweder gar nicht oder höchst reservirt ausgesprochen. Nur wäre noch zu erwähnen, dass Fick [(cit. S. 192) S. 86 Note] angibt, er hätte selber den Eindruck erhalten, als ob „nicht gar zu verdünnte Schwefelsäure“ auf der Zungenspitze süsslich schmecke. Fick legt aber keinen Nachdruck auf diese nur gelegentlich gemachte Beobachtung. —

Ludwig[1] S. 392 führt in einer kleinen Tabelle 4 Substanzen an; für drei (essigsaures Kali, Alaun und schwefels. Natron) stimmen seine Angaben mit jenen Guyot's überein; für das Kochsalz wird angegeben, dass dasselbe an der Zungenspitze salzig, am Zungengrunde süsslich schmecke. Ludwig knüpft daran die Bemerkung, dass der Geschmackswechsel desselben Stoffes auf verschiedenen Flächen des Geschmacksinnes wohl nicht in der Ausdehnung gelte, wie ihn Horn zuerst behauptete, dagegen für einzelne Stoffe namentlich für Salze ausgesprochen genug sei. — Endlich ersieht man aus einer von Camerer (cit. S. 157) mitgetheilten Tabelle, die jedoch zu einem ganz anderen Zwecke entworfen wurde, dass die Schwefelsäure an der Zungenspitze von zwei Personen als bitter empfunden wurde; es muss jedoch bemerkt werden, dass eine dieser Personen auch das Wasser dortselbst als bitter angab.

Wenn man die eben mitgetheilten Beobachtungen näher betrachtet, so gewinnt man bald die Ueberzeugung, dass eine erneuerte Bearbeitung dieses Gegenstandes höchst erwünscht wäre, bei welcher jedoch zuerst ermittelt werden müsste, in wie weit der Geschmackssinn an den verschiedenen Orten des Geschmacksorgans entwickelt ist.

Unter der Voraussetzung, dass der Geschmackssinn nicht für alle vier Hauptgeschmäcke an allen Orten des Geschmacksorgans gleich gut entwickelt sei, lassen sich eine ganze Reihe der oben mitgetheilten Versuche mit der grössten Leichtigkeit erklären, insofern man noch die weitere Annahme macht, dass für jeden Hauptgeschmack eigene specifische Nervenfasern existiren. Von einer ganzen Reihe Salze, wie etwa von den sauren Salzen, wäre es dann nichts Sonderbares, dass dieselben z. B. an der Zungenspitze den sauren, an der Zungenbasis einen anderen Geschmack erregen; es wäre weiter nichts auffallendes, dass z. B. einige Säuren an der Zungenspitze deutlich sauer, am Zungengrund aber anders schmecken sollten, denn wir können, wenigstens vor der Hand, keinen Grund finden, der gegen die Annahme spräche, dass einige chemische Verbindungen mit zwei oder möglicher Weise auch mit mehreren Geschmäcken versehen seien.

Wir haben hier noch einige besondere Versuche Schirmer's (cit. S. 157) anzuführen, aus denen hervorgeht, dass bei Gemengen von zwei verschiedenen Geschmackserregern dieselben an ein und demselben schmeckenden Orte nicht immer gleich schnell, sondern der eine schneller als der andere wahrgenommen wird. — Schirmer machte sich

1 C. Ludwig, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 2. Aufl. Leipzig u. Heidelberg 1858.

von den wässerigen Lösungen der Repräsentanten der vier Hauptgeschmäcke (Kochsalz, Zucker, Essigsäure und schwefelsaures Chinin) verschiedene Mischungen, indem er immer je zwei derselben combinirte, und von jeder Combination aber zwei verschiedene Mischungen machte, eine, in welcher die eine, eine zweite, in welcher die andere Lösung vorherrschte. Auf diese Weise erhielt SCHIRMER zwölf verschiedene Mischungen, und jede wurde dann auf verschiedene schmeckende Stellen applicirt. Aus diesen Versuchen ergab sich Folgendes: Die Zungenspitze nimmt von den in diesen Mischungen enthaltenen Geschmäcken den einen eher wahr als den anderen, weniger deutlich tritt dies an den Zungenrändern und am Zungengrund hervor; dass der eine oder der andere Geschmack zunächst auftritt, hängt nicht von der in der Lösung vorherrschenden Substanz ab, vielmehr tritt der salzige Geschmack vor dem süssen, dieser vor dem saueren, der sauere vor dem bitteren auf. Der zuerst wahrgenommene Geschmack verschwindet auch wieder zuerst, am längsten bleibt aber der bittere zurück. — Wie die Zunge verhält sich auch der weiche Gaumen, mit dem Unterschiede jedoch, dass der zweite Geschmack nicht rasch wahrnehmbar ist, ja dass derselbe manchmal entgeht, besonders wenn er der schwächere ist. — Der arcus palatoglossus empfindet beide Geschmacksarten zu gleicher Zeit. Der Geschmack der vorherrschenden Substanz wird bisweilen nur allein wahrgenommen und verdrängt den anderen schwächeren, besonders wenn jener ein bitterer ist. — Das Gaumensegel scheint überhaupt besonders für das Bittere empfindlich zu sein.

Wir müssen aber vor Allem bemerken, dass diese Angaben nicht allgemeine Giltigkeit haben können, da, wie wir oben gesehen haben, die von SCHIRMER untersuchten Gegenden nicht bei allen Menschen einen vollkommen entwickelten Geschmackssinn besitzen und derselbe bei einigen Individuen an gewissen Gegenden, so an der Zungenspitze, den Zungenrändern, am weichen Gaumen etc. sogar vollkommen fehlen kann. Wir können ausserdem der Erklärung, welche SCHIRMER von den von ihm beobachteten Erscheinungen gibt, dass nämlich die Geschmacksorgane auf der Zunge mit mehr Schichten vom Epithel bedeckt seien, am Gaumensegel aber mehr zu Tage liegen, gegenwärtig, nachdem die Schmeckbecher entdeckt sind, nicht mehr beipflichten; eher lässt sich denken, dass dieselben in der specifischen Energie der einzelnen Geschmacksfasern eine befriedigende Erklärung finden könnten.

II. Die Reactionszeit einer Geschmacksempfindung.

Ueber die Reactionszeit einer Geschmacksempfindung wurden die ersten Versuche von v. WITTICH und DR. GRÜNHAGEN[1] vorgenommen. — v. WITTICH benützte den sauren Geschmack, welchen der elektrische Strom an der Zungenspitze erregt. Der reizende Strom wurde gleichzeitig mit dem Zeichenstrom durch Umwerfen einer Wippe ge-

1 v. WITTICH, Ueber die Fortleitungsgeschwindigkeit in menschlichen Nerven. Ztschr. f. rat. Med. (3) XXXI.

schlossen; v. WITTICH berechnete die mittlere Zeit (von der Zunge zur Hand) aus 40 Beobachtungen auf 0,167 Sec.

Zahlreicher sind die Beobachtungen, welche ich mit HÖNIGSCHMIED[1] vornahm. Bei diesen Versuchen wurde die schmeckbare Substanz auf die Zungenspitze oder auf den Zungengrund mit einem Pinsel applicirt, der so eingerichtet war, dass im Moment der Application auch der zeitmessende Strom, dessen Unterbrechung mit der Hand geschah, geschlossen wurde. – Die von uns vorgenommenen Versuche lassen sich in drei Gruppen eintheilen. — Zu der ersten Gruppe gehören jene Beobachtungen, bei welchen der untersuchten Person genau bekannt war, welche Geschmackssubstanz (Chlornatrium, Zucker, Citronensäure und doppeltschwefelsaures Chinin) applicirt wurde; dieser Person fiel also hierbei bloss die Aufgabe zu, den zeitmessenden Strom in jenem Augenblicke zu unterbrechen, in welchem die erste Spur einer deutlichen Geschmacksempfindung auftrat. Die Versuche wurden bei drei Personen an der Zungenspitze, und bei einer auch am Zungengrund vorgenommen. Ausserdem wurde die Reactionszeit für die einfache Berührung der Zungenspitze und des Zungengrundes mit dem Pinsel ermittelt.

An der Zungenspitze haben wir folgende Mittelwerthe erhalten.

	Die Versuche wurden vorgenommen bei Herrn		
	H.	Dr. D.	Fu.
Berührung	0,1507	0,1251	0,1742
Chlornatrium	0,1598	0,597	—
Zucker	0,1639	0,752	0,3502
Säure	0,1676	—	—
Chinin	0,2196	0,993	—

Am Zungengrund ergaben die Versuche folgende Mittelwerthe: für die einfache Berührung 0,1409 Sec., für Chlornatrium 0,543 Sec., für Zucker 0,552 Sec., für Chinin 0,502 Sec.

Letztere Versuche wurden an der vordersten rechten Pap. circumv. vorgenommen, und zwar nur bei Herrn Dr. D.

Aus den mitgetheilten Mittelwerthen ersieht man, dass die einfache Berührung sowohl an der Zungenspitze als auch am Zungengrund immer früher signalisirt wird, als irgend eine Geschmacksempfindung. — Die Reactionszeiten der verschiedenen Geschmäcke sind an der Zungenspitze bei verschiedenen Personen sehr verschieden,

1 M. v. VINTSCHGAU u. J. HÖNIGSCHMIED, Versuche über die Reactionszeit einer Geschmacksempfindung. 1. Theil im Arch. für die gesammte Physiologie X.; 2. Theil ebend. XII und 3. Theil ebend. XIV.

und ausserdem auch bei derselben Person verschieden je nach der angewendeten schmeckbaren Substanz; die Reactionszeit des Bitteren ist dortselbst die längste. — Am Zungengrund zeigen die drei geprüften Geschmäcke keinen auffallenden Unterschied in der Reactionszeit, sie werden aber immer früher signalisirt, als wenn die Application auf die Zungenspitze stattfindet.

Die Versuche dieser ersten Gruppe zeigen auch, dass eine gewisse Zeit verstreichen muss, bevor die Erregung der Geschmacksnerven eine solche Intensität erreicht, bei welcher die Geschmacksempfindung eben anfängt deutlich zu werden. Wir können uns nämlich nach der Analogie mit den übrigen Nerven nicht denken, dass der Unterschied zwischen der Signalisirung der einfachen Berührung der Zungenspitze oder des Zungengrundes und jener der Geschmacksempfindung bloss auf Rechnung der Zeit zu setzen sei, welche die schmeckbare Substanz braucht, um bis zu den Stiftchen der Geschmackszellen zu gelangen.

Zu der zweiten Gruppe gehören jene Versuche, bei welchen die untersuchte Person eine im voraus bestimmte schmeckbare Substanz von destillirtem Wasser unterscheiden musste. — Diese Beobachtungen wurden bloss an der Zungenspitze einer einzigen Person vorgenommen.

Endlich zur dritten Gruppe gehören jene Versuche, bei welchen die Reactionszeit einer schmeckbaren Substanz bestimmt wurde, wenn der Beobachtete wohl wusste, dass zwei im Voraus bestimmte schmeckbare Substanzen in Anwendung kommen werden, während es ihm aber unbekannt war, welche derselben applicirt werden wird, er also zwischen zwei Geschmäcken zu entscheiden hatte. Auch diese Beobachtungen wurden bloss an der Zungenspitze derselben Person gemacht, bei welcher die Versuche der zweiten Gruppe angestellt wurden.

In folgender Tabelle stellen wir die Resultate zusammen, welche ich und HÖNIGSCHMIED bei den drei an derselben Person angestellten Versuchsgruppen erhalten haben.

	Einfache Wahrnehmung der Substanz	Unterscheidung von				
		Wasser	Chlor Natrium	Säure	Zucker	Chinin
Chlornatrium . .	0,1598	0,2766	—	0,3338	0,3378	0,4802
Säure	0,1676	0,3315	0,3749	—	0,4081	0,4096
Zucker	0,1639	0,3840	0,3688	0,4373	—	0,4224
Chinin	0,2196	0,4129	0,4388	0,5095	0,4210	—

Die Anwendung der Tabelle ist einfach; man braucht bloss im ersten Stab die Bezeichnung der Substanz, deren Reactionszeit man erfahren will und in der ersten Zeile die Bezeichnung der Substanz, mit welcher der Vexirversuch vorgenommen wurde, zu suchen; so findet man an der Stelle, wo der horizontale Stab mit dem verticalen sich kreuzt, die gesuchte Reactionszeit.

Wir haben aus obiger Tabelle folgendes Gesetz für die Zungenspitze abgeleitet: Wenn man mit destillirtem Wasser und einer schmeckbaren Substanz oder abwechselnd mit zwei schmeckbaren Substanzen Vexirversuche auf der Zungenspitze vornimmt, so wird die Erkenntnisszeit der einen (bei Vexirversuchen mit Wasser) oder von beiden (bei Vexirversuchen mit zwei schmeckbaren Substanzen) desto länger, je länger die Reactionszeit der Einen der schmeckbaren Substanzen bei einfacher Betupfung ist. — Es ist jedoch fraglich, ob dieses Gesetz eine allgemeine Giltigkeit hat, ob nämlich dasselbe auch für den Zungengrund, an welchem die Geschmacksfähigkeit am intensivsten entwickelt ist, und wo die Reactionszeiten der einzelnen Geschmäcke nur sehr kleine Unterschiede zeigen, aufgestellt werden kann.

III. Die specifische Energie der Geschmacksfasern.

Man kann auch für den Geschmackssinn näher untersuchen, ob die verschiedenen Geschmacksempfindungen auf einer verschiedenen Erregungsweise ein und derselben Nervenfaser beruhen, oder ob wir für die einzelnen Geschmacksempfindungen eigene Nervenfasern annehmen sollen.

Fick [(cit. S. 192) S. 79] hat zuerst die letzte Hypothese ausgesprochen, ohne sie jedoch näher zu verfolgen. Brücke [(cit. S. 192) S. 243] hat dieselbe als sehr wahrscheinlich hingestellt und Urbantschitsch (cit. S. 156) sich ihr nicht bloss angeschlossen, sondern auch getrachtet, diese Hypothese mit mehreren Gründen zu stützen; er beruft sich vor Allem darauf, dass die Einschränkung des Geschmacksfeldes in einigen Fällen nicht gleichmässig für sämmtliche vier Geschmacksarten eintritt, sondern nur für eine bestimmte Substanz. — In jüngster Zeit habe ich[1] ebenfalls versucht, diese Annahme näher zu begründen.

Die Hypothese, dass eigene Geschmacksfasern für jede Geschmacksart vorhanden seien, bietet den Vortheil, uns eine ganze Reihe von Erscheinungen zu erklären, die wir am Geschmacks-

1 M. v. Vintschgau, Beiträge zur Physiologie des Geschmackssinnes. 3. Theil im Arch. f. d. gesammte Physiologie XX. S. 225.

sinn beobachten. — Es ist gut, der Kürze halber die Ausdrücke schmeckende Nervenfasern oder süss, bitter schmeckende Nervenfasern etc. zu benützen und zwar in demselben Sinne, wie man von motorischen, sensitiven, hemmenden Nervenfasern spricht.

Bei dieser Hypothese genügt es vorauszusetzen, dass an einer Stelle des Geschmacksorgans die verschiedenen Arten von Geschmacksfasern nicht in gleicher Anzahl vorhanden sind um die Beobachtung zu erklären, dass nicht alle Geschmäcke mit gleicher Feinheit unterschieden werden. — Wenn wir mit Beziehung auf diese Hypothese annehmen, dass die einzelnen Gattungen von Geschmacksfasern an einer Stelle in geringer Anzahl vorhanden sind, so wird es uns verständlich, warum Geschmäcke deutlicher hervortreten, sobald man die ganze Stelle mit der schmeckbaren Substanz bestreicht, als wenn man bloss eine beschränkte Stelle derselben betupft. — Auf Grund derselben Voraussetzung, dass nämlich eine Gattung Geschmacksfasern in einer Region nur in geringer Anzahl vorkomme, erhalten wir auch die Erklärung, wesshalb der betreffende Geschmack leichter unterschieden wird, wenn die Vexirversuche bloss mit Wasser, als wenn dieselben mit einer anderen schmeckbaren Substanz vorgenommen werden. — Wenn wir weiters annehmen, dass die bitter schmeckenden Fasern an der Zungenspitze in geringerer Anzahl vorkommen als alle übrigen Gattungen von Geschmacksfasern, so verstehen wir auch, weshalb die Reactionszeit für das Bittere dortselbst länger ausfällt, als bei den übrigen Geschmäcken, während dagegen am Zungengrund, an welchem alle Gattungen Geschmacksfasern in grosser Anzahl zu treffen sind, alle Geschmäcke beinahe dieselbe Reactionszeit haben. — Es ist endlich leicht mit Hilfe derselben Hypothese zu erklären, wie es vorkommen kann, dass eine und dieselbe Substanz an der Zungenspitze einen bestimmten Geschmack und am Zungengrund wieder einen anderen Geschmack verräth, nur muss man selbstverständlich auch annehmen, dass diese Substanz zwei oder mehr Geschmäcke besitze.

Da nun diese Hypothese von eigenen Gattungen Geschmacksfasern im Stande ist, so verschiedenartige Erscheinungen zu erklären, so ist es klar, dass dieselbe eine grosse Berechtigung besitzt.

An dieselbe knüpft sich aber die weitere Frage über die Zahl der Fasergattungen, die man unterscheiden soll. — Es genügt nur folgende vier Arten anzunehmen: sauer, süss, bitter und salzig schmeckende Fasern. Dass diese vier Arten wirklich vorkommen, glaube ich aus den Versuchen, die ich an meiner Zungenspitze vornahm (cit. S. 157), entnehmen zu müssen, denn sonst wäre es vollkommen unerklärlich, warum ich, wie schon oben S. 157 an-

geführt wurde, mit der Zungenspitze alle vier Geschmäcke nicht gleich gut wahrnehmen konnte, da doch ganz sicher an meiner Zungenspitze sauer und süss schmeckende Fasern vorkommen.

Eine Vermehrung der Faserarten ist ganz überflüssig, denn mit Beiziehung von Intensitätsunterschieden der einzelnen Geschmäcke lassen sich unzählige Geschmacksarten denken.[1]

IV. Die Intensität einer Geschmacksempfindung.

Die Intensität einer Geschmacksempfindung hängt gewiss von einer ganzen Reihe von Bedingungen ab. Wir werden nun einige dieser Bedingungen näher besprechen.

1. Die Quantität des wirksamen Körpers.

Auf zweifache Weise hat man versucht, die geringste Menge eines schmeckbaren Körpers zu ermitteln, welche noch hinreicht, eine deutliche Geschmacksempfindung hervorzurufen. Man hat nämlich die schmeckbare Lösung bloss auf eine beschränkte Stelle des Geschmacksorgans applicirt, oder man hat ein bestimmtes Volumen der Lösung in den Mund eingeführt. Bei beiden Methoden wurden die Lösungen so weit verdünnt bis der entsprechende Geschmack entweder nicht mehr deutlich auftrat oder bis die Zahl der unrichtigen jene der richtigen Angaben bedeutend überstieg.

Für die erste Methode hat man die Zungenspitze angewendet als die zugänglichere Stelle und sobald daselbst der Geschmack voll-

1 Wir wollen hier ein auffallendes Verhalten der Geschmacksorgane mittheilen, welches von Jacubowitsch [Zur Geschmacksempfindung. Medicinsky Wiestnik 1872. Nr. 52 (Russisch). Hofmann u. Schwalbe's Jahresber. I. S. 572. 1872] bei einem leprösen Kosaken beobachtet wurde. Brachte man bittere Substanzen (Chinin) oder saure (verdünnte Schwefelsäure) auf die Zunge, so hatte der Kranke keine Geschmacksempfindung, nur in letzterem Falle kam mitunter ein Kältegefühl zum Vorschein. Dagegen unterschied der Kranke süsse (Zucker) oder salzige (Kochsalz) Substanzen sehr gut. Wenn man Combinationen von Salz mit Chinin oder Schwefelsäure und Zucker zur Probe anwandte, so hatte der Kranke statt salzig bitteren nur bitteren, und im zweiten Falle nur süssen Geschmack. Diese Alienation des Geschmackes blieb constant während des ganzen Verlaufes der Krankheit. Ich habe diese Beobachtung hier mitgetheilt, weil dieselbe gewiss von Interesse ist; ich kann aber einige Bemerkungen nicht unterdrücken, die vielleicht, wenn die Originalarbeit mir zugänglich wäre, sich als überflüssig herausgestellt hätten. Es ist wenigstens im Referate nicht angegeben, an welcher Stelle der Zunge der Geschmack geprüft wurde; weiter wird anfangs gesagt, dass das Chinin nicht, wohl aber das Kochsalz geschmeckt wurde, während bei einer Mischung von Salz mit Chinin der Kranke nur einen bitteren Geschmack hatte; endlich vermisse ich die Angabe über den Geschmack im gesunden Zustande, oder wenn der Kranke starb, eine Angabe über die Ergebnisse der Sektion.

ständig entwickelt ist, kann man gegen diese Wahl nichts einwenden, obwohl die Pap. circumv. oder die Pap. fol. die geeigneteren Stellen wären. Es ist aber zu bemerken, dass die minimale Menge, die man auf diese Weise ermittelt, doch noch immer etwas grösser ausfallen muss als jene Menge, die in der That die Nerven erregt, weil nicht das ganze angewendete Flüssigkeitsvolum mit den Endorganen der Geschmacksnerven in Berührung kommen kann.

Derselbe Uebelstand tritt selbstverständlich auch bei Anwendung der zweiten Methode ein, dazu gesellt sich noch ein anderer. Die in den Mund eingeführte Flüssigkeitsmenge vermischt sich mit dem Speichel und erfährt dadurch eine Verdünnung, die um so mehr ins Gewicht fallen muss je kleiner das Volumen der eingeführten Lösung ist. Ausserdem werden bei dieser zweiten Methode andere Umstände von Bedeutung sein. Man kann nämlich die in den Mund aufgenommene Lösung ruhig halten und auf den ersten Eindruck achtgeben; dabei ist man aber nicht sicher, dass die schmeckbare Flüssigkeit mit allen schmeckenden Theilen in Berührung kommt, so dass die Empfindung sehr schwach sein oder auch gänzlich fehlen kann. Wird aber die aufgenommene Lösung bewegt, so wird zwar der Geschmack eher hervortreten, dabei aber kommt es gewiss vor, dass nicht bloss neue Theile des Geschmacksorgans mit der Flüssigkeit in Berührung gelangen, sondern auch dass Nerven, welche schon einmal erregt wurden, mehrere Male hintereinander erregt werden. Aus dieser Auseinandersetzung geht hervor, dass die bis jetzt erhaltenen Zahlen wohl eine annähernde aber keine absolute Richtigkeit beanspruchen können; trotzdem liefern sie aber den Beweis, dass eine höchst geringe Menge des schmeckenden Körpers genügt, um eine Geschmacksempfindung hervorzurufen, und dass diese minimale Quantität nicht bei allen schmeckbaren Körpern dieselbe ist.

Die ersten Versuche in diesem Gebiete verdanken wir VALENTIN (cit. S. 196).

Er nahm bald eine grössere bald eine kleinere Menge Flüssigkeit in den Mund; bei zweifelhafter Geschmacksempfindung machte er auch eine Gegenprobe mit destillirtem Wasser. Die von VALENTIN geprüften Substanzen sind Rohrzucker, weisser Syrup, Kochsalz, Schwefelsäure, Aloëextract und basisch schwefelsaures Chinin. Den weissen Syrup werden wir nicht berücksichtigen, weil derselbe ohnehin im Wesentlichen wie der Zucker sich verhielt, von den übrigen Substanzen führen wir bloss die kleinsten Mengen an, die noch eine Geschmacksempfindung hervorriefen.

Zucker. Eine Zuckerlösung mit einem Zuckergehalt von $^1/_{83}$ oder richtiger 1,2 % gab, selbst wenn 20 Ccm. derselben, die 0,24 Grm. Zucker führten, genommen wurden, einen so schwach süssen Geschmack, dass

VALENTIN denselben, wenn ihm die Natur der Lösung unbekannt gewesen wäre, nicht bemerkt haben würde.

Kochsalz. Waren nur $^1/_{213}$ Salz in dem destillirten Wasser aufgelöst, so reichte $1\,^1/_2$ Ccm. hin um einen deutlichen, wenn auch schwachen Salzgeschmack hervorzurufen. Enthielt sie aber $^1/_{426}$ Kochsalz, so musste VALENTIN 12 Ccm. in den Mund nehmen, um einen äusserst schwachen und selbst dann kaum merklichen Salzgeschmack aufzufinden.

Schwefelsäure. Der säuerliche Geschmack liess sich in einer Flüssigkeit die $^1/_{100000}$ wasserfreie Schwefelsäure dem Gewichte nach einschloss, bei genauer Aufmerksamkeit wahrnehmen; führte sie dagegen nur $^1/_{1000000}$, so konnte kein Unterschied im Vergleich mit destillirtem Wasser aufgefunden werden; dieses schmeckte höchstens etwas weniger zusammenziehend.

Aloëextract. $^1/_4$ Ccm. einer Lösung, die nur $^1/_{323}$ trockenen Aloëextractes enthielt, rief schon einen anhaltenden gallig-bitteren Geschmack hervor. Eine Mischung, die nur $^1/_{12500}$ enthielt, verrieth noch den Aloëgeschmack, wenn 10 Ccm. genommen wurden; wurde die Verdünnung bis zu $^1/_{900000}$ gebracht, so trat bei der Vergleichung mit destillirtem Wasser ein schwacher Nachgeschmack nach Aloë auf.

Basisch schwefelsaures Chinin. VALENTIN erkannte mit Deutlichkeit den bitteren Geschmack, wenn das Wasser $^1/_{33000}$ Chininsalz enthielt; führte es dagegen nur $^1/_{1000000}$, so konnte VALENTIN höchstens bei sehr genauer Prüfung eine Spur von einiger Bitterkeit bemerken.

Die geprüften Substanzen lassen sich nach der Art und Weise wie sie mit der Verdünnung ihre Fähigkeit auf die Geschmacksorgane zu wirken verlieren, folgendermaassen ordnen: Zucker, Kochsalz, Aloëextract, basisch schwefelsaures Chinin und Schwefelsäure.

Aus den von VALENTIN mitgetheilten Zahlen lässt sich wohl die kleinste absolute Menge berechnen, welche genügend ist, den Geschmack unter den gegebenen Bedingungen zu erregen. Diese absoluten Zahlen haben aber keinen Werth, da ja nur ein sehr kleiner Bruchtheil jener Substanzmenge wirklich mit den Endorganen in Berührung gekommen sein kann.

VALENTIN hat bei seinen Versuchen die Beobachtung gemacht, dass die kleinste noch schmeckbare Menge nicht gefunden wird, wenn man sich der möglichst stärksten Verdünnung bedient, wohl aber lässt sich dieselbe leichter finden, wenn man die erforderliche Minimalquantität einer dichteren Lösung anwendet.

Dies geht aus folgenden Zahlen hervor: von einer Zuckerlösung, die 2,4 % Zucker führt, genügt 1 Ccm. mit 22 Mgrm., um den süssen Geschmack auf das Deutlichste hervorzurufen; wird aber die Mischung auf 1,2 % gebracht, so geben 20 Ccm. mit 240 Mgrm. keinen sogleich auffallenden Zuckergeschmack. — Von einer Kochsalzlösung die 0,47 % Koch-

salz führt, genügen 1,5 Ccm. mit 6 Mgrm. damit der vollständige Salzgeschmack empfunden werde. Wird aber die Verdünnung auf $^1/_4$ % getrieben, dann erregen erst 29 Mgrm. in 12 Ccm. einen kaum bemerkbaren Salzgeschmack.

Die Erklärung dieser Erscheinung liegt nach Valentin in Folgendem: Damit eine kräftige, bewusste Empfindung zu Stande komme, genügt eine hinreichend starke Anregung von wenigen Nervenfasern; ist aber die Verdünnung eine grosse, dann werden die einzelnen Fasern nur wenig angesprochen, es muss deshalb eine grössere Anzahl derselben angeregt werden, um den bewussten Geschmack hervorzurufen; man ist somit genöthigt, eine grössere Quantität Flüssigkeit einzuführen, die dann absolut eine grössere Menge des Lösungskörpers enthält.

Nebst Valentin hat sich auch Camerer mit diesem Gegenstand befasst und seine diesbezüglichen Beobachtungen in zwei Abhandlungen niedergelegt. — Camerer hat aber bloss das Kochsalz einer Untersuchung unterworfen. Camerer[1] bereitete sich 5 verschieden verdünnte Kochsalzlösungen durch Auflösen dieses Salzes in Schneewasser, nahm jedesmal nur je 30 Ccm. in den Mund und liess Zunge und Flüssigkeit möglichst ruhig; nach erfolgter Empfindung wurde die Flüssigkeit ausgespieen. Die Versuche wurden an zwei Personen nach der Methode der richtigen und falschen Fälle vorgenommen. In folgender Tabelle sind die Resultate Camerer's zusammengestellt und zwar gleichzeitig für beide Versuchspersonen.

In der verschluckten Flüssigkeit enthaltene Salzmenge in Milligr.	Verdünnung des Salzes	Zahl der richtigen Empfindungen in Proc. aller Fälle
4,8	$\frac{1}{6250}$	8,7
9,5	$\frac{1}{3158}$	48,7
14,3	$\frac{1}{2098}$	79,7
19,1	$\frac{1}{1570}$	91,5
28,6	$\frac{1}{1049}$	98,7

Wie nicht anders zu erwarten war, ersieht man aus vorstehender Tabelle, dass mit Zunahme der Concentration die Anzahl der richtigen Fälle zunimmt, und dass die Anzahl derselben rascher wächst als die Concentration der Lösung.

1 Camerer, Die Grenzen der Schmeckbarkeit von Chlornatrium in wässeriger Lösung. Arch. f. d. gesammte Physiologie. II. S. 322 u. folg.

CAMERER hat auch den Einfluss der Temperatur näher studirt; da aber seine Versuche wenig zahlreich und, wie er selbst bemerkt, mit manchen unvermeidlichen Fehlerquellen behaftet sind, gelangte er nur zur Bestätigung der täglichen Erfahrung, dass zwischen 10° und 20° C. am besten geschmeckt wird.

Endlich hat CAMERER beobachtet, dass jene Lösungen, welche gegen das Ende einer Versuchsreihe geschmeckt werden, einen Vorzug haben gegen jene, die am Beginn derselben Reihe geschmeckt werden, und dass jene Lösungen, welche unmittelbar nach der Application von Wasser geschmeckt werden, einen Vorzug denen gegenüber haben, welche stärkeren Lösungen unmittelbar folgten.

Wenn man die Ergebnisse CAMERER's mit jenen VALENTIN's bezüglich des Kochsalzes vergleicht, so findet man, dass bei VALENTIN 12 Ccm. der Lösung mit $^1/_{413}$ Substanz einen schwachen kaum merklichen Salzgeschmack hervorriefen, obwohl in den gebrauchten 12 Ccm. 29 Mgrm. Kochsalz enthalten waren, während bei den Versuchen von CAMERER 30 Ccm. der Lösung mit $^1/_{1049}$ immer einen salzigen Geschmack verursachten. Die absolute Menge Kochsalz war 28,6 Mgrm., also genau wie bei VALENTIN; es darf jedoch nicht übersehen werden, dass bei CAMERER auch 30 Ccm. einer Lösung mit $^1/_{3158}$ in der Hälfte der Fälle eine Geschmacksempfindung erregten. Die absolute Menge war im letzten Falle nur 9,5 Mgrm. Kochsalz. Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass wesentliche individuelle Verschiedenheiten vorzukommen scheinen.

CAMERER (cit. S. 157) hat in der zweiten Arbeit versucht, die Grenzen der Schmeckbarkeit des Kochsalzes für eine beschränkte Stelle der Zungenspitze zu ermitteln. Auf die Zungenspitze wurde eine kurze Glasröhre aufgesetzt, deren Durchmesser 7 Mm. betrug und bis auf die Höhe von 5 Mm. mit der Lösung gefüllt wurde. Diese Versuche ergaben, dass bei einer Concentration der Lösung von 0,0039 ungefähr 70 %, dass jedoch auch bei einer Verdünnung von 0,00089 noch einige (12 %) richtige Angaben vorkommen.

CAMERER suchte auch die schwächste Kochsalzlösung zu ermitteln, welche von einer einzigen Pap. fungiformis noch erkannt wird. Auch diese Versuche wurden zuerst mit einer kurzen Glasröhre vorgenommen, deren um die Papille gelegtes Ende eine elliptische Gestalt hatte und deren grösste Axe nur 2 Mm. betrug. Eine Lösung mit 0,0062 Kochsalz wurde in 88 % der Fälle, dagegen eine solche von 0,0021 niemals erkannt.

Endlich bestimmte CAMERER das minimale Volum einer Kochsalzlösung, welches noch eine Empfindung hervorruft. Das Volumen

der gebrauchten Flüssigkeit wurde nach einem Verfahren bestimmt, welches dem von VIERORDT zur Ermittlung des Blutvolums bei der Bestimmung der Blutkörperchenzahl angewendeten Verfahren analog war. Die Zungenspitze wurde so viel als möglich mit Fliesspapier getrocknet und auf eine Pap. fung. ein Tropfen Flüssigkeit gelegt, welcher 10 und mehr Sekunden auf der Höhe derselben ohne Abfliessen blieb.

Es ergab sich nun, dass, wenn in 0,0303 Cmm. 0,0096 Mgrm. Kochsalz enthalten sind, in ungefähr $^3/_4$ der Fälle richtige Angaben ererfolgten; waren aber nur 0,0024 Mgrm. vorhanden, dann sank die Zahl der richtigen Angaben auf 8 % der Versuche. Nach der Ansicht CAMERER's beträgt die Kochsalzmenge, welche beim Betupfen einer Papille mit einem Krystall ausreicht, um die Empfindung des Salzigen hervorzurufen, immer noch weniger als 0,0024 Mgrm.

Es sei schliesslich bemerkt, dass in VIERORDT's Physiologie[1] eine Tabelle bezüglich der Schmeckbarkeitsgrenzen des Chinins nach Versuchen von CAMERER enthalten ist, bei welchen 30 Ccm. Chininlösung in den Mund genommen wurden. Aus den mitgetheilten Zahlen geht hervor, dass bei einer Verdünnung von $^1/_{103400}$ nur in $^1/_3$ der Versuche das Bittere erkannt wurde, bei einer Verdünnung aber von $^1/_{34000}$ schon in $^9/_{10}$ der Fälle richtige Angaben gemacht wurden. Die absolute Menge Chinin's war im ersten Falle 0,029 im zweiten 0,089 Mgrm.

Es kann an dieser Stelle nur angedeutet werden, dass KEPPLER[2] eine Reihe Versuche vornahm, um die factischen Leistungen des Geschmackssinnes in der Unterschiedsempfindlichkeit für die vier Hauptgeschmäcke zu ermitteln und um zu erfahren, ob auf diesem Sinnesgebiet das WEBER-FECHNER'sche Gesetz massgebend ist. Die Versuche KEPPLER's ergaben nur, dass die Unterschiedsempfindlichkeit des Geschmackssinnes hinter den übrigen Sinnen erheblich zurückstehe, eine Auswerthung seiner Leistungen jedoch nicht unmöglich sei; dagegen stellt KEPPLER die Giltigkeit des WEBER-FECHNER'schen Gesetzes für das Gebiet des Geschmackssinnes in Abrede. FECHNER[3] aber, gestützt auf die von KEPPLER angeführten Versuche, deren Ergebnisse er umrechnete, behauptet, dass die mit Kochsalz erhaltenen Resultate so gut mit dem genannten Gesetze in Uebereinstimmung seien als man es nach der Schwierigkeit dieser Versuche überhaupt nur erwarten könne, während die mit den übrigen Substanzen angestellten Versuche zur Prüfung des Gesetzes nicht geeignet wären.

1 VIERORDT, Grundriss der Physiologie des Menschen. 4. Aufl. Tübingen 1871.
2 FR. KEPPLER, Das Unterscheidungsvermögen des Geschmacksinnes für Concentrationsdifferenzen der schmeckbaren Körper. Arch. f. d. ges. Physiol. II. 1869.
3 G. T. FECHNER, In Sachen der Psychophysik. Leipzig 1877.

2. *Die Grösse der erregten Fläche.*

Aus der täglichen Erfahrung geht schon hervor, dass, wenn ein schmeckbarer Körper auf eine sehr beschränkte Zungenfläche applicirt wird, dessen Geschmack wohl hinreichend deutlich, wenn auch nicht sehr intensiv, hervortritt, vorausgesetzt, dass alle übrigen Bedingungen vorhanden sind; es genügt aber, denselben auf eine grössere Fläche der geschmacksfähigen Theile auszubreiten, damit dessen Geschmack sehr intensiv auftrete und kleine Geschmacksabstufungen und Unterschiede genauer aufgefasst werden können. Wir thun dies immer, wenn wir eine Substanz kosten wollen und erfüllen dabei noch eine andere Bedingung, die bald zur Sprache kommen wird.

Wissenschaftliche Untersuchungen über diesen Gegenstand sind noch sehr wenige und die meisten auch nur nebenbei angestellt worden. Sowohl die Versuche zur Ermittlung der kleinsten Quantität einer schmeckbaren Substanz, die noch im Stande ist, eine Geschmacksempfindung zu erregen (siehe oben S. 209 u. fl.), wie auch die von mir an meiner Zungenspitze vorgenommenen Versuche (cit. S. 157), aus welchen hervorging, dass ich bei einer sehr beschränkten Application der Geschmacksstoffe die Geschmäcke seltener erkannte, als wenn die ganze Zungenspitze bestrichen wurde, liefern schon den Beweis, dass der Geschmackseindruck um so stärker ausfällt, je grösser die erregte Oberfläche ist.

Die besten Beobachtungen sind jedoch jene von Camerer (cit. S. 157), da er sich die direkte Aufgabe stellte, den Einfluss, welchen die Grösse der gereizten Zungenfläche auf die Intensität des Geschmackes ausübt, zu prüfen.

Er wendete folgende Methode an: Zwei kleine Glasröhren wurden in einer grösseren so befestigt, dass die freien glatt abgeschnittenen Enden aus dem grösseren Rohr ungefähr 2 Ctm. herausragten und sich in einer Ebene unmittelbar nebeneinander befanden. Die freien Enden der Röhrchen wurden so auf die Zungenspitze aufgesetzt, dass das eine rechts, das andere links von der Mittellinie stand. Durch Eingiessen von Flüssigkeit in dass grosse Rohr füllten sich auch die zwei kleinen. Es wurde nun abwechselnd bald ein Rohr allein, bald beide offen gelassen; im ersten Fall war die von der Flüssigkeit berührte Zungenfläche halb so gross wie im zweiten, und endlich hat Camerer von derselben Lösung, mit welcher er die Röhrchen füllte, 30 Ccm. frei in den Mund genommen und nach stattgehabter Empfindung ausgespieen.

Bei Anwendung von vier Concentrationen der Kochsalzlösung (0,000954; 0,000636; 0,000318; 0,000159) ergaben nun die Versuche,

dass bei der dritten Methode (30 Ccm. der Lösung in den Mund aufgenommen) die meisten, bei der ersten (nur eine Röhre offen) die wenigsten richtigen Fälle, nämlich Erkennung des Geschmackes vorkommen. Mit zunehmender Verdünnung der Lösung nahm auch die Zahl der unrichtigen Fälle, nämlich jener, in welchen das Kochsalz nicht erkannt wurde, zu.

Ebenso lassen sich jene Versuche Camerer's (cit. S. 157) verwenden, die er mit einzelnen Pap. fungiformes vornahm.

Camerer benützte dazu zwei kurze Glasröhrchen, beide hatten an dem einen Ende einen Durchmesser von 1 Ctm.; das andere zur Aufnahme der Papillen bestimmte Ende hatte die Form einer Ellipse, deren grösster Durchmesser bei der ersten Röhre 2 Mm., bei der zweiten Röhre 4 Mm. betrug, während der kleinste Durchmesser der Ellipse dieser zweiten Röhre 2—5 Mm. ausmachte. Die erste Röhre wurde für eine einzige Papille, die zweite für 2, 3 und 4 Papillen verwendet.

Die Versuche wurden mit zwei Salzlösungen vorgenommen, nämlich 0,0025 oder $^1/_{400}$ und 0,0021 oder $^1/_{476}$. Bei beiden Lösungen nahm im Allgemeinen die Zahl der richtigen Angaben mit der Zahl der erregten Papillen zu; bei Anwendung jedoch der ersten Concentrationen wuchs die Zahl der richtigen Fälle annähernd proportional mit der Zahl der gereizten Papillen wie aus folgender kleiner Tabelle hervorgeht.

Concentration der Lösung 0,0025.

Procent der Urtheile		Anzahl der Papillen innerhalb der Röhre
richtig	unrichtig	
32	38	1
50	26	2
66	18	3
74	20	4

3. *Die mechanischen Bedingungen.*

Es gibt einige mechanische Bedingungen, welche von Einfluss auf die Intensität des Geschmackes werden. Dieselben sind: Bewegung der schmeckbaren Substanz in der Mundhöhle und Anpressung der schmeckenden Theile gegen andere Theile. Beide Bedingungen werden bei der Intention zum Schmecken (Kosten einer Substanz, genaue Prüfung ihres Geschmackes) erfüllt. Wenn man z. B. eine Flüssigkeit (Wein) schmecken will, so wird dieselbe nicht

ruhig im Munde gehalten, sondern im Gegentheile mehr oder weniger bewegt, wodurch sie mit immer neuen Geschmacksflächen in Berührung kommt. In Folge hiervon wird nicht bloss die Intensität des Geschmackes erhöht, sondern es treten auch die feineren Abstufungen desselben deutlicher hervor. Ausserdem ist zu erwähnen, dass die Substanzen, welche rasch verschluckt werden, den Geschmack gar nicht oder nur sehr wenig erregen.

Auf die Bedingung, dass der schmeckbare Körper gegen die schmeckenden Stellen gepresst werde, damit die Qualität und Intensität des Geschmackes gut wahrzunehmen sei, hat schon GUYOT [(cit. S. 157) S. 38] aufmerksam gemacht. — J. MÜLLER [(cit. S. 196) S. 493], welcher ebenfalls darauf hinweist, dass der Geschmack durch wiederholtes Andrücken, Reiben und Bewegen der schmeckbaren Substanz zwischen Gaumen und Zunge geschärft wird, glaubte, dass man zur Erklärung der Erscheinung entweder annehmen müsse, dass der mit Impetus verbundene Eindruck stärker werde, oder dass die schmeckenden Theile schnell abgestumpft würden und desshalb die Bewegung nöthig sei, um das Schmeckbare immer auf neue noch frische oder unermüdete Theilchen zu bringen. — RASPAIL[1] behauptet sogar, dass wir durch das einfache Eintauchen der Zungenspitze in eine Zuckerlösung ohne die Mundtheile oder die Gefässwände zu berühren, bloss den Eindruck der Kälte oder der Flüssigkeit, niemals aber eine Geschmacksempfindung haben.

Auf seine Erklärung brauchen wir nicht einzugehen, da er die Ansicht aufstellt, dass Zunge, Flüssigkeit und der fremde Körper, gegen welchen die Zunge gepresst wird, eine Art VOLTA'sche Säule bilde. —

VALENTIN (cit. S. 196) betrachtet ebenfalls die Bewegung und die Reibung als eine Hauptbedingung des Schmeckens, da fein gepulverter Zucker auf den hintersten Theil der Zunge gestreut keine Geschmacksempfindung hervorruft, wenn nicht eine Schluckbewegung vorgenommen wird, und sieht somit die reibende Bewegung als nothwendig zur Hervorrufung einer Geschmacksempfindung an. — Die meisten Physiologen haben den erwähnten Umstand als sehr wichtig für die Wahrnehmung der Geschmäcke angeführt, meistens jedoch vermieden eine Erklärung zu geben. — FICK (cit. S. 192) wirft bloss folgende Fragen auf, ohne dieselben zu beantworten: Erleichtert die Reibung und der Druck den schmeckbaren Substanzen den Zutritt zu den Nervenenden? oder versetzt er die Nervenenden selbst in

---

1 RASPAIL, Das Organ des Geschmacks. Froriep's neue Not. Nr. 98. (V. Nr. 10) Februar 1838. S. 149—152.

einen erregbaren Zustand? — Funke (cit. S. 156) sucht in beiden Umständen die Erklärung der Erscheinung.

Wir haben schon oben (S. 217) die Bedeutung der Bewegung hervorgehoben; hier wäre nur noch auf die schon von J. Müller (cit. S. 196) angedeutete Möglichkeit hinzuweisen, dass die Geschmacksnerven recht bald ermüden, ein Umstand, der den Nutzen der Bewegung der Flüssigkeit augenscheinlich machen würde.

Die Bedeutung des Druckes ist nach meinem Dafürhalten bloss eine mechanische, damit die schmeckende Flüssigkeit durch jene schmalen Spalten (Spalten der Pap. foliata und Wall der Pap. circumv.) in welchen die Poren der Schmeckbecher münden in die Poren selbst eindringe und so die Stiftchen erreiche. Diese Erklärung macht uns den Versuch Raspail's leicht verständlich. Durch das Eintauchen der Zungenspitze in eine Zuckerlösung dringt wohl diese bis in die Nähe des Porus jener Schmeckbecher, die sich an den Pap. fungiformes befinden, wahrscheinlich aber so langsam und in so geringer Menge, dass die Geschmacksempfindung eine sehr schwache bleibt, und in Folge der gleichzeitigen Temperatur- und Gefühlsempfindung übersehen wird; sobald aber die Zunge an die Glaswand angedrückt wird, so dringt eine grössere Menge Flüssigkeit bis zu den Stiftchen und die Geschmacksempfindung wird nun so stark, dass sie leichter von der gleichzeitig auftretenden Gefühlsempfindung unterschieden werden kann; dass die Geschmacksnerven durch den Druck in eine erhöhte Erregbarkeit versetzt werden, brauchen wir nicht anzunehmen, so lange wir mit der eben angeführten Erklärung auskommen können.

4. *Der Erregbarkeitszustand der Nerven.*

Nach der Analogie mit den übrigen Nerven können wir die Vermuthung aussprechen, dass der Erregbarkeitszustand der Geschmacksnerven einen Einfluss auf die Intensität der Geschmäcke ausüben werde. Die Kälte und die Wärme ändern bekanntlich die Erregbarkeit der Nerven und dem entsprechend hat man auch gefunden, dass die Geschmacksfähigkeit der Zunge sich ändert, je nachdem deren Temperatur erniedrigt oder erhöht ist. — Luchtmans (cit. S. 160) ist der erste, welcher darauf aufmerksam machte, dass durch Kälte die Wahrnehmung der Geschmäcke vermindert wird; wir verdanken jedoch E. H. Weber [1] die ersten streng wissenschaftlichen Ver-

1 E. H. Weber, Ueber den Einfluss der Erwärmung und Erkältung der Nerven auf ihr Leitungsvermögen. Arch. f. Anat. u Phys. 1847. S. 342. Vergleiche auch Tastsinn und Gemeingefühl in Wagner's Handwörterbuch. III. 2. Abth.

suche in dieser Richtung. WEBER wies nämlich nach, dass, wenn die Zunge 1/2 oder 1 Min. oder noch länger in Wasser von 40 bis 42° R. oder wenn dieselbe ebensolange in einem aus zerstossenem Eise und Wasser gemachten Brei eingetaucht war, der süsse Geschmack des Zuckers nicht mehr wahrgenommen wird. — Die Beobachtungen WEBER's wurden in Bezug auf die Kälte von GUYOT [1] bestätigt, welcher angibt, dass der bittere Geschmack von Colombo nur sehr wenig wahrgenommen wird, wenn die Kälte auf die Mundschleimhaut eingewirkt hatte.

Wie aber im gewöhnlichen Leben durch eine Aenderung des Erregbarkeitszustandes der Nerven die Geschmacksfähigkeit sich ändert, darüber haben wir keine Erfahrungen.

Ausser den oben angeführten sind gewiss noch andere Umstände von Bedeutung, nicht bloss für die Intensität einer Geschmacksempfindung, sondern auch überhaupt für die Wahrnehmung der Geschmäcke. Diese Umstände sind uns nur sehr oberflächlich bekannt und wir besitzen darüber gar keine wissenschaftlichen Untersuchungen. Es kann z. B. nicht geläugnet werden, dass die Zustände der verschiedenen absondernden Drüsen der Mundhöhle, und ihrer Secrete, die Trockenheit der Mundhöhle, gelinde Entzündungen ihrer Schleimhaut, vielleicht auch der Zustand des Epithelialüberzuges (Zungenbeleg) von Einfluss sein können. Auch das Menstruum, in welchem die Geschmacksstoffe aufgelöst sind, scheint von Bedeutung zu sein, wie die Versuche CAMERER's (cit. S. 157) es wahrscheinlich machen, indem dieser beobachtet hat, dass bei Auflösung von Kochsalz in arabischem Gummi eine etwas grössere Quantität des Salzes nothwendig war, um einen deutlichen Salzgeschmack zu haben, als bei der Auflösung in blossem Wasser.

V. Contrast der Geschmäcke.

Die Lehre der Contraste, welche in der Physiologie des Gesichtssinnes eine sehr hohe Entwicklung erfahren hat, ist bei dem Geschmackssinne nicht über das Wenige hinausgekommen, was uns die tägliche Erfahrung zeigt, dass nämlich die Geschmacksnerven, wenn sie durch einen bestimmten Geschmack erregt wurden, für andere Geschmäcke entweder empfindlicher oder auch weniger empfindlich sind. — Nach J. MÜLLER [(cit. S. 196) S. 493] soll z. B. der Geschmack des Käses jenen für den Wein erhöhen, der Geschmack des letzten wird dagegen durch das Süsse verdorben. Nach dem Kauen von Kalmuswurzel schmeckte J. MÜLLER Kaffee und Milch säuerlich. — Nach

---

1 GUYOT, Note sur l'anesthesie du sens du goût (Extrait). Comptes rendus des séances de l'académie des sciences. XXXXII. p. 1143. Paris Janvier-Juin 1856.

Valentin [(cit. S. 196) S. 304] scheint es, dass ein Wettstreit der verschiedenen Geschmacksstellen möglich sei, denn wenn man eine saure Masse auf die eine, und eine bittere auf die andere Hälfte der Zungenwurzel bringt, so gelingt es bisweilen, den einen Eindruck vor dem anderen nach Willkür zu bevorzugen.

Wissenschaftliche Untersuchungen über den Contrast der Geschmäcke besitzen wir nicht und eine nähere Untersuchung besonders im Sinne der specifischen Energie der Geschmacksfasern wäre sehr erwünscht.

VI. Compensation der Geschmäcke.[1]

Ebenso dürftig sind unsere Kenntnisse über die Compensation der Geschmäcke. — Luchtmans (cit. S. 160) nahm wohl eine ganze Reihe von Versuchen vor um zu sehen, wie der Geschmack sich ändert, wenn man zwei Geschmäcke mit einander mischt. Seine Versuche sind aber für uns kaum brauchbar, da er meistens Tincturen oder Infusa als Stammflüssigkeiten anwendete, zu welchen er die verschiedensten Substanzen hinzugab.

Gewisse Geschmackseindrücke können einander compensiren, ohne dass dabei die chemischen Eigenschaften der erregenden Körper einander sich compensiren. Es wird z. B. sehr häufig Zucker angewendet, um den sauren Geschmack zu corrigiren. Da Zucker nicht im Stande ist, die Säure zu neutralisiren, und da wir auch nicht annehmen können, dass der Zucker die eine Art von Nerven, diejenigen nämlich, mit welchen wir sauer schmecken, weniger erregbar für Säure mache, so ist Brücke (cit. S. 192) der Anschauung dass die Erregungszustände im Centralorgan einander compensiren. Diese Anschauungsweise findet nach Brücke auch dadurch eine Bestätigung, dass die Geschmacksempfindung als solche bei einer derartigen Compensation nicht schwächer wird. Wenn Säuren durch Zucker corrigirt werden, so erleidet die Geschmacksempfindung dadurch keine Abschwächung, wir finden unsere Zunge nicht weniger afficirt, aber die Geschmacksempfindung wird weniger unangenehm, weniger lästig. Auffallend bleibt es doch immerhin, dass das Bittere nicht leicht compensirt werden kann. — Gefühlsempfindungen können oft den Geschmack verdecken, nur auf diese Weise lässt sich erklären, wie der Zusatz von Pfeffer, Senf etc. sehr häufig den eigentlichen Geschmack einer Substanz zu verdrängen scheint.

---

1 Vergleiche auch oben S. 203 u. folg. die Versuche von Schirmer.

VII. Nachdauer der Geschmäcke.

Ueber die Nachdauer der Geschmäcke wissen wir nicht mehr, als uns die tägliche Erfahrung lehrt; über deren Ursachen haben wir zwei verschiedene Hypothesen.

Bidder [(cit. S. 166) S. 10—11] findet in dem Nachgeschmack eine gewisse Analogie mit den Nachbildern im Auge. Die erste und ursprüngliche Veränderung der Geschmacksnerven wird als bestimmte Geschmacksempfindung dem Bewusstsein kund gegeben, bei der Rückkehr in den ursprünglichen Zustand d. h. zur Ruhe laufen in den Geschmacksnerven gewisse Veränderungen ab, die ebenfalls dem Sensorium und zwar in der specifischen Energie zugeleitet, aber als etwas von der ersten Empfindung Abweichendes wahrgenommen werden. Bidder glaubt sich zu dieser Erklärung veranlasst, da der Nachgeschmack auch nach sorgfältiger Abtrocknung der Zunge fortdauert. Fick (cit. S. 192) glaubt dagegen, dass der Nachgeschmack einfach in einem wirklichen Zurückbleiben kleiner Quantitäten der schmeckbaren Substanz begründet sei, die aus den zahlreichen capillären Vertiefungen der Zungenschleimhaut nicht leicht vollständig zu entfernen sind.

Der Nachgeschmack tritt am deutlichsten in den hinteren Partien der Zunge, also dort, wo die capillären Spalten am zahlreichsten vorkommen, hervor.

Ein Abklingen der Geschmäcke, wie dies bei den Nachbildern geschieht, wurde bis jetzt nicht mit Sicherheit beobachtet. Valentin (cit. S. 196) gibt wohl an, dass einige Körper wie z. B. gerbstoffhaltige Substanzen, aromatische Substanzen (Calmus, Baldrian), einige Weine, Liqueure einen Nachgeschmack zurücklassen, welcher von dem ursprünglichen abweicht. Valentin setzt jedoch hinzu, die nachträglichen Geschmacksempfindungen könnten möglicherweise davon herrühren, dass entweder einzelne Bestandtheile der gekosteten Verbindungen erst später sich auflösen, oder dass ihre Wirkungen als die schwächeren im Anfange unterdrückt werden.

Reine Geschmacksstoffe erzeugen wohl deutliche Nachempfindungen, die aber mit dem ursprünglichen Geschmack identisch sind, so dass man höchstens mit den positiven gleichgefärbten Nachbildern eine Analogie finden könnte. Eine solche Analogie hat jedoch kaum einen Werth, so lange man nicht mit voller Sicherheit das Zurückbleiben von Geschmacksstoffen auszuschliessen im Stande ist. Eine Abtrocknung der Zunge, wie sie Bidder anwendete, ist gewiss nicht geeignet diesen Nachweis zu erbringen.

VIII. Verfeinerung des Geschmackes.

Dass der Geschmack analog den übrigen Sinnesorganen durch Uebung eine Verfeinerung erfahren könne lässt sich nicht in Abrede stellen; die tägliche Beobachtung an Wein-, Caffee-, Theeschmeckern bestätigt es.[1]

Man kann jedoch die Bemerkung nicht unterdrücken, dass in sehr vielen Fällen auch der Geruchs- und Gefühlssinn im Spiele sind. Beobachtungen, die sich streng auf den Geschmackssinn beschränken, fehlen gänzlich.

Es wird auch behauptet (HYRTL[2] S. 416), dass der Geschmack der einzige Sinn sei, der mit dem Alter besser wird, unter Kindern gibt es wohl Näscher für Süssigkeiten, aber keine Gourmands für eine feine Küche.

Auch eine Abstumpfung des Geschmackssinnes in Folge öfterer Wiederholung desselben Geschmackseindruckes wird von Einigen [VALENTIN (cit. S. 196), CARPENTER (l. c.), LONGET (cit. S. 158)] angenommen.

IX. Subjective Geschmacksempfindungen.

CLOQUET[3] S. 237 führt folgende ihm vom Prof. DUPUYTREN gemachte Mittheilung an; letzterer habe Milch in die Adern eines Hundes eingespritzt, worauf das Thier sich derart bewegte, als ob die Milch mit seiner Zunge in Berührung gekommen wäre. Daran knüpft CLOQUET bloss die Bemerkung, diese Erfahrung scheine zu beweisen, dass der Geschmackssinn seine Quelle im Inneren der Organe selbst haben könne. — Nach J. MÜLLER [(cit. S. 196) S. 493] rührt dieser Versuch von MAGENDIE her; er hält es für wahrscheinlich, dass Veränderungen des Geschmackes und eigenthümliche Geschmäcke durch innere Veränderungen der Nerven entstehen können; sie seien aber schwer von denjenigen Geschmäcken zu trennen, die von objectiven Ursachen, nämlich durch Veränderungen in dem Mundschleim entstehen. J. MÜLLER zählt den Ekel, welcher durch mechanischen Reiz der Zungenwurzel hervorgerufen wird, dann die Empfindung, welche bei dem früher erwähnten Versuche HENLE's

1 Vergleiche auch CARPENTER in Todd Cyclopaedia of Anatomy and Physiology. IV. Part. II. London 1849—1852.

2 J. HYRTL, Handbuch der topographischen Anatomie. 5. Aufl. Wien 1865.

3 H. CLOQUET, Osphresiologie oder Lehre von den Gerüchen, von dem Geruchssinn und den Geruchsorganen und von deren Krankheiten. Aus dem Französischen übersetzt. Weimar 1824.

(siehe oben S. 188) entsteht, ja sogar den Geschmack, welcher bei elektrischer Reizung der Zunge auftritt, zu den subjectiven Geschmacksempfindungen.

R. Wagner (Lehrb. etc. cit. S. 156) verschluckte rasch 4 Grm. Salpeter, welche so eingehüllt waren, dass im Augenblick des Verschluckens keine Spur von salzigem Geschmack entstehen konnte; er beobachtete sodann, dass dieser Geschmack deutlich ohne Aufstossen etwa 10 bis 15 Minuten nachher auftrat. — Dieser Versuch könnte als Analogon zu dem oben mitgetheilten Experiment von Dupuytren (Magendie) angesehen werden, wenn nicht die Möglichkeit vorhanden wäre, dass der Salpeter durch die Speicheldrüsen, wenn auch in geringer Quantität, secernirt wurde.

Bidder [(cit. S. 166) S. 11] nimmt wohl an, dass subjective Geschmäcke möglicherweise entstehen können, wie z. B. bei dem blossen Anblick gewisser Objecte oder bei der blossen Vorstellung, fügt aber hinzu, dass solche Empfindungen vorzugsweise bei krankhaften Veränderungen des Darmkanals und der Mundhöhle vorkommen, so dass wieder die Abhängigkeit vieler scheinbar subjectiver Geschmacksempfindungen von einer veränderten Qualität der Mundflüssigkeit nicht ausgeschlossen ist. — Valentin (cit. S. 196) bestreitet wegen der Analogie mit den übrigen Sinnesorganen nicht die Möglichkeit von subjectiven Geschmacksempfindungen, lässt aber den Versuch Dupuytren's (Magendie) nicht als Beweis dafür gelten, da es nicht ausgeschlossen ist, dass schmeckbare Verbindungen mit der Ernährungsflüssigkeit oder mit dem Speichel austreten, und die Aufmerksamkeit des Thieres gefesselt haben. Valentin kann nicht umhin zu bemerken, dass in vielen Fällen für scheinbar subjective Geschmacksempfindungen eine objective Ursache zu finden sei. —

Romberg [(cit. S. 195) S. 140] bemerkt, dass keine Beispiele von gustatorischer Anästhesie existiren, „wo, bei vorhandener Leitungsunfähigkeit, Geschmacksempfindungen centralen Ursprungs beobachtet worden sind.“ Der Analogie nach jedoch lassen sich die unter gewissen Verhältnissen, z. B. in der Hysterie, Hypochondrie, im Irrsinn u. s. w. vorkommenden Geschmacksempfindungen nicht anders deuten, als wie die optischen Phantasmen. — Endlich sei noch angeführt, dass nach Duval's Angabe (cit. S. 191) Cl. Bernard in die Venen eines Hundes Coloquinthen injicirte, worauf der Hund alle jene Zeichen gegeben haben soll, welche er gegeben hätte, wenn die bittere Substanz auf seine Zunge direct applicirt worden wäre. Dasselbe soll Frerichs beobachtet haben, als er die Galle in die Venen eines Hundes einspritzte. Gegen diese Versuche lässt sich

selbstverständlich dieselbe Einwendung erheben, wie gegen den Versuch von DUPUYTREN.

Wir besitzen somit weder sichere Versuche noch Beobachtungen, aus welchen das unzweifelhafte Vorkommen von subjectiven Geschmacksempfindungen abgeleitet werden könnte, andererseits aber kann deren Möglichkeit auch nicht bestritten werden.

PHYSIOLOGIE DES GERUCHSSINNES.

EINLEITUNG.

Die Physiologie des Geruchssinnes ist ein bis jetzt noch sehr wenig bearbeitetes Gebiet der Forschung und man kann wohl behaupten, dass mit Ausnahme von jenen Folgerungen, welche aus den anatomischen Thatsachen abgeleitet werden können, Alles übrige auf mehr oder weniger vereinzelten Beobachtungen und Erfahrungen beruht, welche meistens eines innigen Zusammenhanges entbehren. — Chemie und Physik haben uns bei dem Geruchssinne bis jetzt im Stich gelassen; Versuche an Thieren können, wie überhaupt bei den Sinnesorganen, auch hier nur in sehr beschränkter Richtung vorgenommen werden; die Beobachtungen endlich an gesunden oder kranken Menschen, von welchen wir die wichtigsten Auskünfte erhalten müssten, sind bis jetzt nur in spärlicher Anzahl angestellt worden, und in nicht wenigen Fällen ist eine Entscheidung zwischen Wahrheit und Dichtung ungemein schwer.

Beim Geruche wie beim Geschmacke finden wir, dass manche Empfindungen, die als Geruchsempfindungen bezeichnet werden, nicht als solche, oder wenigstens nicht ausschliesslich als solche gelten können, Beweis davon die so oft gebrauchten Ausdrücke eines stechenden, eines scharfen Geruches etc., welche dahin deuten, dass man es mit einer Gefühlsempfindung zu thun hat.

Der Geruchssinn wird von Theilchen erregt, welche aus den riechenden Substanzen ausströmen. Unsere Kenntnisse aber über die riechenden Theilchen sind noch immer so geringfügig, dass wir wohl folgende Worte, welche CLOQUET[1] vor mehr als einem halben Jahrhundert aussprach, mit voller Beruhigung, unterschreiben

1 H. CLOQUET, Osphresiologie oder Lehre von den Gerüchen, von dem Geruchssinne und den Geruchsorganen und von deren Krankheiten. Aus dem Französischen übersetzt. Weimar 1824.

können: „Unter Allem, was auf unsere Sinne wirkt, sind die Dinge, welche den Geruch ansprechen, am wenigsten gekannt, obwohl ihr Eindruck auf unseren thierischen Haushalt stark und tief ist, und sie gewissermaassen materieller sind als andere.“

ERSTES CAPITEL.

Das Geruchsorgan.

I. Anatomische Gebilde des Geruchsorgans.

1. Die Riechschleimhaut.

Denjenigen Theil der Nasenschleimhaut, welcher die obere Partie der Nasenhöhle auskleidet und durch eine braungelbe Farbe, sowie als Ausbreitungsgebiet des Olfactorius sich auszeichnet, nennt man die Geruchs- oder die Riechschleimhaut, und die entsprechende Nasengegend Regio olfactoria; der übrige Theil der Schleimhaut dagegen wird einfach Schneider'sche Haut (Kölliker[1]) und die entsprechende Nasengegend Regio respiratoria genannt. (Vergleiche auch später S. 245.)

Ecker[2] hat in der Regio olfactoria des Menschen eine Stelle mit dem Namen locus luteus belegt, weil dieselbe eine saturirte gelbe Färbung zeigt, es scheint aber, dass weder die Ausdehnung dieser Stelle noch ihr Vorkommen etwas constantes sei (Welker[3], M. Schultze[4] Luschka[5]).

Fast gleichzeitig haben Eckhardt[6] und Ecker[7], ersterer beim

---

1 Kölliker, Microscopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen II. 2. Hälfte. S. 764. Leipzig 1854.

2 Ecker, Ueber die Geruchsschleimhaut des Menschen. Ztschr. f. wissensch. Zool. VIII. S. 303. 1857.

3 Welcker, Untersuchung der Retinazapfen und des Riechhautepithels bei einem Hingerichteten. Ztschr. f. rat. Med. (3) XX. 1863.

4 M. Schultze, Ueber die Endigungsweise d. Geruchsnerven u. die Epithelialgebilde der Nasenschleimhaut. Berl. Acad. 13. Nov. 1856. Separatabdruck. Derselbe. Das Epithelium der Riechschleimhaut des Menschen. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1864. Nr. 25. S. 385.

5 Luschka, Das Epithelium der Riechschleimhaut des Menschen. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1864. Nr. 22. S. 337.

6 Eckhardt, Beiträge zur Anatomie und Physiologie Heft I. 1855.

7 Ecker, Berichte üb. die Verhandlungen der Gesellschaft für Beförderung der Naturwissenschaften zu Freiburg im Br. No. 12. Nov. 1855. Nach Henle u. Meissner's Jahresber. 1856.

Frosche, letzterer beim Menschen und einigen Säugethieren in der Regio olfactoria zwei verschiedene Zellenformen beschrieben. Die nähere Schilderung derselben, sowie ihre Unterscheidung in Riech- und Epithelzellen rührt von M. Schultze her.[1]

Alle Histologen haben diese Bezeichnungen angenommen und sich auch der Ansicht M. Schultze's angeschlossen, dass bloss die Riechzellen mit den Endästen des Geruchsnerven sich verbinden (siehe auch später S. 232).

Bezüglich einer näheren Schilderung der beiden Zellenformen müssen wir auf die Lehrbücher über Histologie und auf die später noch anzuführenden besonderen Arbeiten verweisen. Dagegen dürfen wir hier einige andere Punkte nicht übergehen.

Exner[2] hat wohl die herkömmlichen Bezeichnungen beider Zellenformen beibehalten, aber die Ansicht aufgestellt und vertheidigt, dass Uebergänge von einer Zellenform in die andere vorkommen. Er sucht nachzuweisen, dass alle jene Unterscheidungsmerkmale, welche M. Schultze für beide Zellenformen bezüglich des Zellenkernes, sowie des peripheren und des centralen Fortsatzes aufstellte, nicht so exclusiv sind, um beide Zellenformen von einander trennen zu können, ferner dass beide Zellenarten sich mit den Olfactoriusfasern verbinden (siehe später S. 232).

Eine ganze Reihe Forscher haben sich damit beschäftigt, die Riechschleimhaut bei verschiedenen Thieren zu untersuchen, in Folge dessen wurden die Angaben Exner's mehr oder weniger bestritten.

Es ist hier nicht der Ort auf die Angaben der einzelnen Forscher einzugehen und wir müssen uns mit der Anführung der Literaturquellen und der untersuchten Thiere sowie mit einigen Bemerkungen begnügen.

Grimm[3] (Störe). — Babuchin[4] hatte schon früher angegeben, dass der periphere Fortsatz der Riechzellen beim Proteus aus zwei Substanzen bestehe, nämlich aus einer äusseren, welche unter dem Einflusse gewisser

---

1 M. Schultze, Ueber die Endigungsweise etc. cit. S. 226. Derselbe, Untersuchungen über den Bau der Nasenschleimhaut, namentl. die Structur u. Endigungsweise der Geruchsnerven bei dem Menschen und den Wirbelthieren. Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Halle VII. Halle 1863.

2 S. Exner, Untersuchungen üb. die Riechschleimhaut des Frosches. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. LXIII. S. 44 u. f. 1871. Derselbe, Weitere Studien über die Structur der Riechschleimhaut bei Wirbelthieren. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXV. S. 7 u. f. 1872.

3 Grimm, Ueber das Geruchsorgan der Störe. Vorläufige Mittheilung. Göttinger Nachrichten 1872. S. 537. Derselbe, Ueber die Nervenendigung im Geruchsorgane der Störe. Arbeiten der St. Petersburger Gesellschaft der Naturforscher, redigirt von Beketoff IV. 1. Lief. 1873 (Russisch). Vergl. Hofmann und Schwalbe's Jahresber. II. Literatur 1873. Leipzig 1875.

4 Babuchin, Das Geruchsorgan. Stricker's Handbuch der Lehre von den Geweben II. Leipzig 1872.

Agentien anschwelle, und aus einem inneren Faden, welcher dabei unverändert bleibe. Grimm (l. c.) beschreibt nun an den Riechzellen der Störe einen centralen in Ueberosmiumsäure sich dunkler färbenden Faden, welcher am Kern vorüber zum peripheren Ende der Zelle zieht. Nur wäre noch hinzuzufügen, dass Grimm einen gleichen Faden auch in breiteren Zellen fand, welche gleichsam eine vermittelnde Stellung zwischen Cylinder- und Riechzellen einzunehmen scheinen.

Langerhans[1] (Petromyzon und Ammocoetes). — Newell Martin[2] (Salamander, Frosch, Hund). — Paschutin[3] (Frosch). — Cisoff[4] (Frosch und Kaninchen). — v. Brunn[5] (Hund, Katze, Kaninchen, Schaf, Kalb, Frosch, Salamander). v. Brunn beschreibt bei Säugethieren eine glashelle strukturlose Membrana limitans olfactoria, welche die freie Oberfläche beider Zellarten bedeckt, aber den Enden der Riechzellen gegenüber mit feinen Oeffnungen (Poren) versehen sein soll, so dass nur die Riechzellen der directen Einwirkung der Riechstoffe ausgesetzt wären. v. Brunn trachtet auch den Einwand zu beseitigen, als hätte er es nur mit Schleimgerinnungen zu thun gehabt. Sidky[6] hat das Vorkommen dieser Membran bestätigt, Exner[7] und Löwe[8] betrachten dieselbe als ein Kunstproduct. — Colasanti[9] (Frosch). — Pereyaslawzeff Sophie[10] (Zahlreiche Fische des Mittelmeeres aber besonders Solea impar und Lophius piscatorius). — Föttinger[11] fand bei Petromyzon fluviatilis und Planeri nur eine Zellenform. — Ich habe mich absichtlich so allgemein ausgedrückt, weil die Original-Abhandlung dieses Forschers mir nicht zur Verfügung stand; im Jahresbericht wird angegeben „specifische Riechzellen"; Exner (siehe Text) dagegen sagt Epithelzellen. — Sidky Mahmoud[6] (Schaf, Schwein, Hund, Triton). — Löwe[8] (Kaninchen). — Fe-

1 Langerhans, Unters. über Petromyzon Planeri. Bericht der naturf. Gesellschaft zu Freiburg im Br. VI. 1873. Vergl. Hofmann u. Schwalbe's Jahresber. 1873.

2 Newell Martin, Notes on the structure of the olfactory mucous membrane. Journ. of anat. and physiol. VIII. Nov. 1873. Vgl. Hofmann u. Schwalbe's Jahresber. III. Literatur 1874.

3 V. Paschutin, Ueber den Bau der Schleimhaut der Regio olfactoria des Frosches. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. S. 257. 1873.

4 Cisoff, Zur Kenntniss der Regio olfactoria. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1874. Nr. 44. S. 689.

5 v. Brunn, Die Membrana limitans olfactoria. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1874. Nr. 45. S. 709. Derselbe, Untersuchungen über das Riechepithel. Arch. f. microsc. Anat. XI. S. 468. 1875.

6 Sidky Mahmoud, Recherches anatomo-microscopiques sur la muqueuse olfactive. Thèse de Paris 1877 (Ref. in Revue des sc. méd. XI. 1. p. 71). Vergl. Hofmann und Schwalbe's Jahresber. VI. Literatur 1877.

7 S. Exner, Fortgesetzte Studien über die Endigungsweise des Geruchsnerven. Dritte Abhandlung. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXVI. 1877.

8 Löwe, Beiträge zur Anatomie der Nase und Mundhöhle. Berlin 1878. Vergl. Centralbl. f. d. med. Wiss. 1879. Nr. 8. S. 132 und Hofmann und Schwalbe's Jahresb. VII. Literatur 1878. 1. Abth.

9 Colasanti, Untersuchungen über die Durchschneidung des N. olfactorius bei Fröschen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1875. S. 469.

10 Pereyaslawzeff Sophie, Vorläufige Mittheilungen über die Nase der Fische. Diss. Zürich 1876.

11 Föttinger, Rech. s. la structure de l'epiderme des Cyclost. et quelques mots s. l. cellules olfactives. Bull. d. l'acad. d. Belg. 1876. Vgl. Hofmann u. Schwalbe's Jahresber. V. Literatur 1876. 1. Abth.

LISCH[1] (Pferd). — S. M. PERESLAWCEWA[2] (Zahlreiche Fische). Verfasserin fand die Uebergangsformen von Riechzellen zu Cylinderzellen bei Scorpaena in sehr geringer Menge, in grösserer Anzahl dagegen bei den Chondropterygiern, bei allen übrigen von ihr untersuchten Fischen fehlten die Uebergangsformen.

EXNER (cit. S. 228) betrat nun, um seine Ansicht zu vertheidigen, zwei andere Wege.

Die Beobachtungen von FÖTTINGER (cit. S. 228) hatten ergeben, dass in der Riechschleimhaut von Petromyzon fluviatilis und Planeri nur die von M. SCHULTZE beschriebenen Epithelzellen vorkommen, während dagegen vorher LANGERHANS (cit. S. 228) bei denselben Thieren ein Riechepithel gefunden hatte, welches von dem der übrigen Thiere sich nicht wesentlich unterscheidet. EXNER untersuchte deshalb Petromyzon marinus, Petromyzon fluviatilis und dessen Larve (Ammocoetes branchialis) und fand bei dem Riechepithel dieser Thiere die Eigenthümlichkeit, dass die typischen von M. SCHULTZE beschriebenen Zellenformen nicht ohne weiteres in ihnen aufzufinden sind, dieselben aber doch sowohl bei den ausgebildeten Species wie auch bei der Larvenform nicht unbeträchtliche Differenzen zeigen.

EXNER wendete sich daher an die Kaulquappe, um die Entwicklung des Riechepithels zu studiren und fand, dass bei derselben die Uebergangsformen des Riechepithels viel zahlreicher vorkommen als bei den schon entwickelten Thieren. Auf Grund dieser Beobachtung kommt er zur Ansicht, dass bei den von ihm untersuchten Larvenformen der Batrachier die Epithelzellen (nach M. SCHULTZE) in ihrem Jugendzustand den Riechzellen (nach M. SCHULTZE) vollkommen gleichen, so dass letztere nur ein Entwicklungsstadium der ersteren bilden würden. EXNER zieht daraus auch den weiteren Schluss, dass die „Riechzelle“ des erwachsenen Thieres nur eine jüngere Form der „Epithelzelle“ sei, es trete nämlich, wenn die Zelle die Riechzellenform erreicht hat, ein Stillstand oder doch eine bedeutende Verzögerung des Wachsthums ein. Vielleicht auch geschähe es, dass die Zellen in diesem Stadium so lange verblieben, bis ihnen durch das zu Grundegehen von alten Zellen Platz geschafft wird.

Der andere von EXNER beigebrachte Beweis beruht auf der Ver-

1 FELISCH, Beitrag zur Histologie d. Schleimhäute in den Lufthöhlen d. Pferdekopfes. Diss. und Arch. f. w. u. pract. Thierheilkunde von Müller u. Schütz IV. Vgl. Hofmann u. Schwalbe's Jahresber. VII. Literatur 1878. 1. Abth.

2 S. M. PERESLAWCEWA, Ueber die Structur und die Form des Geruchsorganes bei den Fischen. Arbeiten aus der St. Petersb. Gesellschaft der Naturforscher unter Redaction von A. BEKETOFF IX. S. 36—49. Sitzungsprotocolle der zool. Section vom 11. Febr. 1878 (Russisch), citirt nach Hofmann und Schwalbe's Jahresber. VII. Literatur 1878.

änderung, welche das Riechepithel nach Durchschneidung des Olfactorius bei Fröschen erleidet (siehe auch unten S. 242). Zwei Monate nach der Operation findet man nämlich in der Riechschleimhaut bloss ein gewöhnliches Cylinderepithel.

Wir können hier eine allgemeine Bemerkung nicht unterdrücken, nämlich, dass die Ergebnisse der anatomischen Untersuchungen an Fischen und Amphibien sich nicht ohne weiteres auf die Vögel und Säugethiere übertragen lassen, es ist nicht unwahrscheinlich, dass die Endorgane des Olfactorius etwas verschieden sich gestalten, je nachdem die Thiere in Wasser oder in der Luft, oder in beiden leben, da, wie später (siehe unten S. 257) ausführlich mitgetheilt werden soll, der Mensch nicht im Stande ist zu riechen, wenn die Nase mit einer riechenden Flüssigkeit gefüllt wird.

Wir haben nun das Vorkommen von Wimperhaaren in der Riechschleimhaut näher zu berücksichtigen.

Mensch und Säugethiere. — TODD und BOWMAN[1] haben zuerst erwähnt, dass an der Geruchsschleimhaut keine Flimmerhaare zu finden sind.

GEGENBAUR, LEYDIG und H. MÜLLER[2], ECKER (Berichte etc. cit. S. 226), WELCKER (cit. S. 226), LUSCHKA (cit. S. 226), SEEBERG[3], HENLE und EHLERS[4] haben in der Regio olfactoria des Menschen cilientragende Zellen gefunden. ECKER (Ueber die Geruchsschleim- etc. cit. S. 226) hat aber später in dem von ihm genannten Locus luteus keine flimmernde Bewegung beobachtet, und nach M. SCHULTZE (cit. S. 227) ist die Regio olfactoria des Menschen und der Säugethiere cilienlos; FREY[5], Note S. 639, fand dieselbe bei Menschen in nicht unbeträchtlicher Ausdehnung ebenfalls ohne Wimpern. BABUCHIN (cit. S. 227) hat sich der Ansicht von M. SCHULTZE angeschlossen. HOYER[6] führt an, dass die Riechschleimhaut der Säugethiere nicht flimmere und FELISCH (cit. S. 229) konnte beim Pferd keine Wimpern finden. REICHERT[7] und in neuester Zeit auch LÖWE

1 TODD und BOWMAN, Physiological anatomy and physiology of man II. citirt nach M. Schultze, Untersuchungen über den Bau der Nasenschleimhaut.

2 GEGENBAUR, LEYDIG und H. MÜLLER, Bericht über einige an der Leiche eines Enthaupteten angestellte Beobachtungen. Würzburger Verhandl. V. S. 17. 1855.

3 SEEBERG, Disquis. microscop. de textura membranae pituitariae nasi. Dorpat 1856. S. 25, citirt nach Henle's Handbuch d. Eingeweidelehre und Henle u. Meissner's Jahresber. 1856. S. 27.

4 HENLE und EHLERS in Henle's Handbuch der Eingeweidelehre des Menschen. 2. Aufl. S. 872. Braunschweig 1873.

5 FREY, Handb. d. Histologie u. Histochemie d. Menschen. 4. Aufl. Leipzig 1874.

6 HOYER, Ueber die microscopischen Verhältnisse der Nasenschleimhaut verschiedener Thiere und des Menschen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860. S. 50 u. f.

7 REICHERT, Bericht über die Fortschritte der microscop. Anatomie im J. 1855. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1856. S. 41.

(cit. S. 228) behaupten dagegen, dass die Regio olfactoria des Kaninchens flimmere. Exner[1] fand, dass sowohl die Epithelzellen als auch die Riechzellen wimpernlos sind.

Exner (l. c.) bekam jedoch häufig Bilder, die darauf hindeuteten, dass den freien Rändern der Zelle ein Saum aufsitzt, welcher die grösste Aehnlichkeit mit zu Grunde gegangenen Wimperhaaren besitzt; nach Exner „ist also die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass dieses Epithel doch Wimpern trägt" (S. 24). Es sei aber erwähnt, dass M. Schultze (Ueber die Endigungsweise etc. cit. S. 226) auch bei Säugethieren an den Endflächen der Riechzellen Gebilde beschrieben hat, die er für analog mit den Riechhärchen hielt. Diese Gebilde wurden aber später sowohl von Schultze selber (Untersuchungen etc. cit. S. 227) als auch von Hoyer [(cit. S. 230) S. 57] als Kunstproducte aufgefasst, und als solche sind nach M. Schultze (l. c.) auch jene Gebilde zu betrachten, welche Balogh[2] (S. 470) an dem Riechepithel (Epithel und Riechzellen) des Schafes beschrieben hat.

Wir müssen aber hier noch erwähnen, dass M. Schultze Angaben gemacht hat, die vielleicht im Stande sind, die verschiedenen Beobachtungen an Menschen zu vereinigen. M. Schultze hatte schon sowohl in seiner ersten Mittheilung (cit. S. 226) als auch in seiner ausführlichen Abhandlung [(cit. S. 227) S. 71 und 76] erwähnt, dass er beim Menschen wiederholt Gruppen wimpernloser Epithelzellen mit eingelagerten Riechzellen beobachtet habe, welche in Form von Inseln oder Flecken zwischen den Wimperzellen sich vorfänden; später (Das Epithelium etc. cit. S. 226) hat er diese Beobachtung wiederum bestätigt gefunden und fügt noch hinzu, es sei aber, da individuelle Verschiedenheiten vorzukommen scheinen, jetzt Aufgabe, bei künftigen Untersuchungen, wo möglich die im Leben zu beobachtende Schärfe des Geruchsvermögens mit in Berücksichtigung zu ziehen.

Vögel, Amphibien und Reptilien. — M. Schultze (Untersuchungen etc. cit. S. 227) beschreibt drei verschiedene Arten von Riechhärchen in der Regio olfactoria dieser Thiere nämlich 1. ganz lange, starre, vollkommen unbewegliche, 2. mittellange, hie und da schwache Bewegungen zeigende und 3. kürzere, deutlich schwingende Härchen. Diese Härchen finden sich aber bloss auf den Riechzellen und deshalb hat M. Schultze dieselben „Riechhärchen" genannt (S. 34). Von den längeren und steifen steht je eines, von den kürzeren stehen 6 bis 10 auf den Zellen. — Exner (cit. S. 227) macht bloss Angaben über den Frosch und die Schildkröte; die Vögel hat er nicht in dieser Richtung untersucht; er fand, dass die Härchen nicht

1 Exner, Weitere Studien über die Structur etc. Sitzungsber. der Wiener Acad. 3. Abth. LXXVI. 1877.

2 Balogh, Das Jacobson'sche Organ des Schafes. Sitzgsber. d. Wiener Acad. XXXXII. S. 449. 1861.

bloss auf den Riechzellen, sondern auch auf den Epithelzellen der Riechschleimhaut vorkommen. Beim Proteus (Babuchin cit. S. 227) tragen die Riechzellen feine lange Cilien, die Epithelzellen dagegen einen Saum von feinen Pünktchen. Ich vermuthe, dass letztere eher Artefacte waren.

Fische. — M. Schultze (Untersuchungen etc. cit. S. 227) untersuchte eine Reihe Süsswasserfische und einige Plagiostomen; bei den ersten fand er keine Härchen, bei den letzten die Cylinderzellen mit Wimperhaaren, die Riechzellen dagegen ganz frei. — Babuchin [(l. c.) S. 970] meldet, dass die geruchspercipirenden Stellen bei Plagiostomen mit flimmernden Epithelien bedeckt sind; und Exner (cit. S. 231) fand, dass bei Knorpelfischen die Epithelzellen tief eingesetzte Wimperhaare tragen. — Bei Petromyzon fluviatilis fanden Langerhans (cit. S. 228), Föttinger (cit. S. 228) und Exner (cit. S. 228) Wimperhaare; und von Ammocoetes branchialis sagt Exner bloss: „im Wesentlichen findet man hier dieselben Verhältnisse, wie beim reifen Petromyzon". Die Zellen von Petromyzon marinus scheinen nach Exner (l. c.) Haare zu tragen, dieselben sind aber sehr vergänglich. — Nach Grimm (cit. S. 227) tragen die Fadenzellen (Riechzellen) bei den Stören lange fast borstenartige Haare.

2. *Zusammenhang der Nervenfasern mit dem Riechepithel.*

Die schwierige Frage der anatomischen Verbindung der Nervenfasern mit dem Riechepithel ist noch nicht mit vollkommener Sicherheit gelöst.

M. Schultze (cit. S. 227) und Babuchin (l. c.) haben auf Gründe gestützt, die hier nicht weiter auseinander gesetzt werden können, die Vermuthung ausgesprochen, dass die Olfactoriusfasern sich mit den Riechzellen verbinden. — Exner (cit. S. 227) behauptet, dass sowohl die Riech- als auch die Epithelzellen — welche, wie oben angeführt wurde, nach ihm keine differenten Gebilde sind — auf eine eigenthümliche Weise mit den Olfactoriusfasern zusammenhängen.

Exner beschreibt nämlich ein subepitheliales Netzwerk, dessen Balken die grösste Aehnlichkeit mit den Epithelialfortsätzen besitzen, und in dessen Maschen Kerne liegen, welche jenen der Riechzellen gleichen. Die centralen Fortsätze der Epithel- und Riechzellen gehen in dieses Maschenwerk über, welches eigentlich von den Fortsätzen der Epithelzellen gebildet wird, während die Fortsätze der Riechzellen sich in das Maschenwerk einpflanzen; ihr Eintritt ist nämlich mit einem schwarzen Pünktchen (Ueberosmiumsäurepräparate) be-

zeichnet. Die Olfactoriusfasern lösen sich in dem Netzwerk auf und bei Menschen sieht man oft die centralen Fortsätze der Epithelial- und der Riechzellen „wie es scheint“ [(cit. S. 231) S. 33] direct aus den Nerven hervorgehen. Exner selbst (cit. S. 228) sagt S. 184, dass es ungemein schwer sei, den Zusammenhang der Nerven mit dem Netz der Epithelialfortsätze zu voller Evidenz zu demonstriren. Aber auch diese Angaben Exner's haben einen lebhaften Widerspruch gefunden, welcher eine Replik von Seite Exner's (cit. S. 228) hervorrief, deren Hauptresultate schon oben mitgetheilt wurden.

Bezüglich der Beobachtungen der Widersacher Exner's müssen wir uns hier mit kurzen Andeutungen begnügen.

Grimm (cit. S. 227) stellt eine Verbindung der Cylinderzellen (Epithelzellen) mit den Nerven entschieden in Abrede, dagegen habe er den unmittelbaren Zusammenhang des inneren Riechzellenfortsatzes mit den Fibrillen des Olfactorius, wenn auch selten, beobachtet.

Paschutin (cit. S. 228) beschreibt wohl ein subepitheliales Gewebe, dasselbe sei aber nicht nervöser Natur. Nach Paschutin sammeln sich die centralen Fortsätze der Riechzellen zu einzelnen Bündeln, welche sich umbiegen, um quer zwischen den centralen Fortsätzen der Epithelzellen zu verlaufen; in der Nähe des subepithelialen Bindegewebes erfahren diese Bündel eine neue Biegung, um in dem unterliegenden Gewebe als marklose Nerven zu erscheinen.

Cisoff (cit. S. 228) erhielt durch Isolation „dünne Nervenbündel im Zusammenhang mit Riechzellen“. Das subepitheliale Gewebe ist glasig durchscheinend, die Contouren der einzelnen Gebilde sehr verschwommen, so dass ein Urtheil über den Zusammenhang zwischen Zellen und Nervenbündeln sich nicht fällen lässt. Nach Entfernung des Epitheliums sieht man Bündel von Olfactoriusfasern über das subepitheliale Gewebe hervorragen.

v. Brunn (cit. S. 228) hat wohl bei Salamandra unter der Epithelschicht ein Netzwerk beobachtet, in welchem die centralen Fortsätze der Riechzellen endigen, aber eine Verbindung der Olfactoriusfasern mit dem Netzwerk hat v. Brunn nicht gefunden.

Pereyaslawzeff (cit. S. 228) hat nur bei wenigen Fischen Andeutungen einer besonderen Subepithelialschicht (Exner) gesehen; das Epithel ist meistens scharf von dem darunter liegenden Bindegewebe abgegrenzt, und die Olfactoriusfasern gehen in der Regel unmittelbar aus dem Bindegewebe in das Epithel über, um hier als Riechzellen zu endigen.

Löwe (cit. S. 228) hat bei Kaninchen den subepithelialen Plexus nicht beobachtet, aber auch die Verbindung der Riechzellen mit den Nervenfasern hat sich der Wahrnehmung entzogen.

Auf die besondere Struktur des Bulbus olfactorius, auf das Jacobson'sche Organ, zu welchen Fäden des Olfactorius gehen und auf die Drüsen der Nasenschleimhaut kann hier nicht eingegangen werden.

II. Der Geruchsnerv.

1. *Ermittelung des Geruchsnerven.*

Das erste Paar der Gehirnnerven, der Olfactorius ist der specifische Nerv für die Geruchsempfindungen. Nur allmählich konnte sich diese Ansicht Bahn brechen und auch in unseren Tagen fehlt es nicht an Physiologen, welche sich gegen dieselbe aussprechen.

Der Mönch Theophilus Protospatharius zu Ende des VIII. Jahrhunderts scheint der erste gewesen zu sein, welcher in einer griechisch geschriebenen Abhandlung über die Theile des menschlichen Körpers die genannten Organe als Geruchsorgane erkannte, dabei aber auch die Ansicht aussprach, dass dieselben zwar während der Einathmung die riechbaren Dünste zum Gehirne leiteten, mit der ausgeathmeten Luft aber zugleich die überflüssigen Feuchtigkeiten aus demselben fortführten. Diese Ansicht konnte gegen die Meinung des Galenus, dass der Geruchssinn in den Grosshirnhöhlen sitze, und dass die riechbaren Stofftheilchen durch die Löcher der Siebplatte in dieselben gelange, nicht aufkommen.

N. Massa (1536) beschrieb zuerst den Durchgang der Geruchsnerven durch die lamina cribrosa und ihre Verbreitung in der Schleimhaut. Achillini, Gabriel de Zerbis und Vessalius haben diese Organe als Nerven erkannt; letzterer betrachtete die Geruchsnerven als allein dem Geruche dienend und läugnete den zweiten Theil der Behauptung von Protospatharius.

Wir müssen in Bezug auf nähere geschichtliche Daten auf das Werk von Longet [1] und vorzugsweise auf jenes von Cloquet (cit. S. 225) verweisen.

Cloquet führt uns in einer Note seiner ausgezeichneten Abhandlung eine ganze Reihe von Autoren vor, von welchen einige die Olfactorii für Geruchswerkzeuge erkannten, ja sogar für Nerven hielten, sich aber von der Ansicht des Galenus nicht losmachen konnten, andere dagegen, welche wohl dieselben als Riechwerkzeuge, nicht aber für Nerven gelten liessen. — Schneider benützte eine Beobachtung des Bolognesischen Professors Eustachius Rudius um das Jahr 1600, welcher von einem jungen Mann erzählte, der von Geburt an kein Geruchsvermögen hatte und nach seinem Tode ohne Geruchsnerven befunden wurde, um eben diese Nerven als Geruchsnerven zu bezeichnen; er beschrieb auch ihre Verbreitung in der Nasenschleimhaut. — Diese Beobachtungen genügten aber nicht um dem Olfactorius seine Stellung zu sichern, da Diemerbroek und Mery die Riechfähigkeit in das fünfte Paar verlegten. — Die meisten Physiologen vertheidigten jedoch die Ansicht, dass der Olfactorius für die Geruchsempfindungen bestimmt sei.

---

1 Longet, Anatomie und Physiologie des Nervensystems, übersetzt von Dr. J. A. Hein. II. Leipzig 1849.

Bellingeri[1] 1818 betrachtet wohl den Olfactorius als Geruchsnerven, macht aber einen Unterschied zwischen olfactus animalis et naturalis, vel ab instinctu.[2] Er hat übrigens mit Klarheit und Einfachheit den mechanischen Act des Riechens angedeutet. Bellingeri führt weiter an, dass bei einer Erkrankung des fünften Paares der Geruch noch unversehrt war. Es ist wohl wahr, dass Bellingeri auch dem Trigeminus eine Bedeutung für den Geruch zuschreibt, aber nur für jenen Geruch, den er als den natürlichen (naturalis) oder vom Instinct abhängigen auffasst. Wir brauchen uns jedoch mit letzterer Ansicht nicht weiter zu befassen.

Cloquet 1824 [(cit. S. 225) S. 79] betrachtet die Nasenhöhle und deren Schleimhaut als den Sitz des Geruchsorgans und S. 173 sagt er ganz deutlich: „die Nerven der Schleimhaut sind offenbar von zweierlei Arten, einige dienen zum Riechen, dies sind die Zweige der Geruchsnerven oder des ersten Paares, die andern dienen das Leben in der Haut zu erhalten".

Magendie, obwohl zu seiner Zeit von allen Physiologen das erste Paar als Geruchsnerv angesehen wurde, hat dennoch versucht die alte Ansicht von Diemerbroek und Mery wieder aufzustellen und trachtete vom Jahre 1824 an, auch durch Versuche den Nachweis zu liefern, dass der Trigeminus für die Perception der Gerüche bestimmt sei.[3]

Bei der folgenden Schilderung der Angaben Magendie's werde ich mich vorzugsweise an seine letzte Schrift, Vorlesungen u. s. w. (cit. Note 3) halten, und mich nur manchmal auf die früheren beziehen müssen.

Magendie durchschnitt den Trigeminus in der Schädelhöhle, worauf der Geruchssinn mit Aether, am häufigsten aber mit Ammoniak geprüft

---

1 Bellingeri, Diss. inauguralis quam publice defendebat in regio Athenaeo Anno 1818 die IX maji. Augustae Taurinorum. p. 162 u. f.

2 Verum puto, distinctionem esse ponendam inter olfactum animalem et naturalem, vel ab instinctu. Animalis igitur olfactus, quo sensu corporum odores dignoscimus, percipimus, comparamus, a primo pari regitur; hinc quum grate aliquid olfacere cupimus vel odorem quemcumque distinguere volumus, vehementer ore clauso, perque nares inspiramus, ut odori halitus sursum ascendant, et usque ad productiones primi paris adveniant.

3 Magendie hat an mehreren Orten über die Function des Olfactorius sich ausgesprochen. Wir geben im Folgenden das Verzeichniss seiner diessbezüglichen Veröffentlichungen. Derselbe, Le nerf olfactif est-il l'organe de l'odorat? Expériences sur cette question. Magendie's Journ. d. physiol. expér. et. pathol. IV. p. 169—176. Paris 1824. Derselbe, De l'influence de la cinquième paire de nerfs sur la nutrition et les fonctions de l'ocil. Magendie's Journ. de physiol. expér. et pathol. IV. p. 176—182. Paris 1824. Derselbe, Suite des expériences sur les fonctions de la cinquième paire de nerfs lue à l'Academie des sciences le 3. nov. 1824. Magendie's Journ. de physiol. expér. et pathol. IV. p. 302. Paris 1824. Derselbe. Lehrbuch der Physiologie. Uebersetzt von Elsässer. 3. Aufl. Tübingen 1834. Derselbe. Vorlesungen über das Nervensystem und seine Krankheiten. Uebersetzt von Dr. Gustav Krupp. Leipzig 1841.

wurde; die Thiere blieben ganz ruhig. Er traute sich nicht aus diesen Versuchen den Schluss zu ziehen, dass „der Geruch seinen Sitz in den Aesten des fünften Paares hat", sondern bloss, „dass diese Aeste an dieser Function durch ihre Verbindung mit den Aesten des Geruchsnerven Theil nehmen", S. 382. Schon früher (Suite etc. cit. S. 235) hatte Magendie etwas Aehnliches geäussert, aber auch hinzugefügt, dass die Olfactorii eine specielle Empfindlichkeit bezüglich der riechenden Körper haben können. — In einer anderen Schrift (Lehrbuch etc. cit. S. 235) 1834 hatte Magendie sogar die wichtige Angabe gemacht, dass bei Menschen der Geruch fehlen und doch die allgemeine Empfindlichkeit fortbestehen kann. Vögel, an welchen er (Le nerf olfactif etc. cit. S. 235) die Gehirnhemisphären entfernte, hatten die Empfindlichkeit der Nasenschleimhaut behalten, für starke Gerüche waren sie aber unempfindlich. — Magendie fand (Le nerf olfactif etc. cit. S. 235), dass der blossgelegte Olfactorius auf mechanische Reize unempfindlich ist, und bei dessen Betupfung mit Ammoniak der Hund nur deshalb reagirte, weil die Substanz bis zur Unterfläche des Nerven gelangte. Der Geruchsnerv besitzt somit kein Tastvermögen. Er fand ferner, dass nach Durchschneidung der Olfactorii die Empfindlichkeit der Nasenschleimhaut unverändert bleibt und wird somit, gestützt auf seine Versuche mit Durchschneidung des Trigeminus, zu dem richtigen Schluss geführt, dass nach der eben erwähnten Operation die Empfindlichkeit der Nasenhöhle gänzlich vernichtet ist, dieselbe erleide dagegen nach der Durchschneidung der Olfactorii keine Aenderung (S. 384).

Magendie zieht auch die anatomische Verbreitung der Geruchsnerven in Betracht und ist gezwungen zu sagen, dass, wenn man sich bloss auf die anatomischen Thatsachen stützen würde, so könnte man nicht zweifeln, dass die Olfactorii die Geruchsnerven seien (S. 391), ihm genügen aber die Ergebnisse der Anatomie nicht. Er schneidet deshalb die Olfactorii durch, prüft den Geruchssinn mit Essigäther, mit Ammoniak, macht auch einen Versuch mit Käse, den er dem Kinne des Hundes nähert, und weil nun der Hund auf die ersten Substanzen reagirt und sich des Käses bemächtigt, so soll das Thier noch riechen.

Magendie (S. 394) bindet hierauf dem operirten Hunde die Augen zu und stellt nun mit demselben mehrere neue Versuche an, nämlich mit Käse, mit im Papier eingewickeltem Fleisch [vorher (Le nerf olfact. etc. cit. S. 235) hatte Magendie einen gleichen Versuch jedoch ohne Zubinden der Augen als nicht hinreichend beweisend gefunden[1]], und mit Fleisch, welches mit Tabak bestreut ist; die ersten Gegenstände werden gefressen, nicht aber der letzte.

Magendie (S. 394) gedenkt auch der Einwürfe, die man gegen die Anwendung von Ammoniak erhoben hatte und bemerkt, dass die Versuche ebenso mit Dippel'schen und Lavendelöl gelingen, welche Substanzen nicht auf die Nasenschleimhaut wirken. — Dagegen aber finden wir an einer andern Stelle (Lehrbuch etc. cit. S. 235), dass, wenn er Versuche

---

1 Mais je ne regarde pas cette tentative comme suffisemment probante, car, dans d'autres circonstances il m'a paru manquer d'odorat pour trouver les aliments que je mettais près de lui à son insu.

mit schwachen Gerüchen von Speisen u. s. w. anstellen wollte, keine ganz sicheren Resultate zu erhalten waren.

Für MAGENDIE [(Vorlesungen etc. cit. S. 235) S. 395] stehen die Geruchsnerven in derselben Kategorie wie die Gl. pituitaria, pinealis, das Corpus callosum etc. deren Function uns völlig unbekannt ist.

W. RAPP[1] vertheidigt ebenfalls die Ansicht, dass der Olfactorius die Verrichtung als Sinnesnerve mit den Zweigen des Trigeminus, die in der Nasenschleimhaut endigen, theile.

Ein Jahr nachdem MAGENDIE seine ersten Mittheilungen veröffentlichte, trat ESCHRICHT[2] auf, um die Angaben des französischen Physiologen zu bekämpfen.

ESCHRICHT führt eine ganze Reihe Beobachtungen älterer Forscher über Mangel des Geruchssinnes mit gleichzeitigem Fehlen oder Degeneration der Olfactorien, wie auch über die Durchschneidung des Olfactorius bei Thieren an, und spricht sich gegen die Substanzen aus, welche MAGENDIE anwendete, um den Geruchssinn nach Zerstörung des Olfactorius zu prüfen.

Von nun an vermehrte sich sehr rasch die Zahl der Physiologen, welche gegen MAGENDIE auftraten, so BELL[3] (S. 134), welcher die Anwendung des Ammoniaks tadelte, J. BISHOP[4] (S. 132) der einen Fall von Trigeminuslähmung mit vollkommener Erhaltung der Geruchsfähigkeit beschrieb; ELSÄSSER der Uebersetzer des Lehrbuches von MAGENDIE in der Note XIX b. p. 351; J. MÜLLER[5] (S. 754) und DUGÉS.[6]

Es sei hier erwähnt, dass sowohl DUGÈS (l. c.) als auch PICHT[7] keine Geruchswahrnehmungen hatten; beide geben aber übereinstimmend an, dass ihre Nasenschleimhaut durch die Dämpfe von Essigsäure, Ammoniak und dergl. Substanzen erregt wurde, welche die bekannten Empfindungen und Reflexwirkungen hervorriefen.

PRESAT[8] (1838) beschrieb einen Fall, bei welchem beide Olfac-

---

1 W. RAPP, Die Verrichtungen des fünften Hirnnervenpaares. S. 1 u. f. Leipzig 1832.

2 F. ESCHRICHT, De functionibus Nervorum faciei et Olfactus organi. Dissertatio. Hafniae 1825.

3 C. BELL, Physiologische u. pathologische Untersuchungen d. Nervensystems. Aus dem Englischen übersetzt von M. H. ROMBERG. S. 134. Berlin 1832.

4 J. BISHOP in London medical gazette. Decemb. 1833. Auszug im Arch. f. Anat. u. Physiol. 1834. Jahresber. über die Fortschritte der anat. physiol. Wissenschaften im Jahre 1833. S. 132.

5 J. MÜLLER, Handbuch der Physiologie des Menschen I. 2. Aufl. Coblenz 1835.

6 A. DUGÈS, Traité de Physiol. comparée de l'homme et des animaux. I. Montpellier 1838.

7 F. PICHT. De gustus et olfactus nexu praesertim argumentis pathologicis et experimentis illustrato. Diss. Berolini 1829.

8 PRESAT, Fall, wo die Geruchsnerven fehlten. Schmidt's Jahrb. 1839. XXII. S. 170 aus L'Expérience No. 21. 1838.

torii fehlten, das Verhalten des Geruchssinnes während des Lebens konnte allerdings erst nachträglich durch Befragen der Verwandten ermittelt werden, soll aber gemangelt haben.

Valentin[1] hat sich gegen die Angaben Magendie's ausgesprochen und ebenso gegen die Versuche Gianuzzi's, von welchen wir später reden werden (siehe unten S. 240).

Valentin [(De functionibus etc. cit. Note 1) S. 10] hat eigene Versuche vorgenommen, um die Erfahrungen Magendie's über den Olfactorius zu prüfen, und diesen Nerven bei Kaninchen durchschnitten. Reizung des Olfactorius veranlasst nirgends eine Bewegung, auch nicht eine Reflexbewegung, seine Durchschneidung lässt die allgemeine Empfindlichkeit der Nase unverändert; der Geruchssinn ist aber vollkommen vernichtet. Die Versuche Valentin's bestanden darin, dass er ein todtes Kaninchen auf einen Tisch legte, auf welchem sich ein operirtes und ein gesundes Kaninchen befanden, beide hatten verbundene Augen, das zweite schnüffelte an dem todten Kaninchen, das erste aber kümmerte sich nicht darum, wenn es auch dasselbe berührte.

Bidder[2] (S. 916) und mit ihm Wagner[3] sprechen sich ganz entschieden für die Geruchsfunction des Olfactorius aus.

Beide Forscher stützen sich 1) auf Versuche bei Thieren. Kaninchen nach Durchschneidung der Olfactorii können die stärksten Gerüche nicht wahrnehmen, während die gewöhnliche Sensibilität unversehrt ist; 2) auf die vergleichende Anatomie, da Thiere mit scharfem Geruche auch einen sehr entwickelten Olfactorius besitzen; 3) auf pathologische Fälle. Bei Personen, die während des Lebens den Geruch verloren hatten, fand man die Olfactorii degenerirt oder fehlend; bei Personen mit unangenehmen, subjectiven Gerüchen fand man Veränderungen im Gehirn oder an den Wurzeln der Riechnerven. 4) Endlich darauf, dass bei Personen ohne Geruchssinn der Trigeminus noch auf Reize antwortet.

Wagner [(cit. Note 3) S. 348] fügt noch hinzu, dass ihm zwei Personen, Bruder und Schwester, bekannt sind, die kein Geruchsvermögen haben und doch auf Ammoniak reagiren. Die Eltern und eine Schwester derselben zeigen normale Verhältnisse.

Longet[4] hat sich sehr entschieden gegen die Ansicht und die Angaben Magendie's ausgesprochen und entlehnte wieder seine Argumente aus pathologischen Fällen, aus der vergleichenden Anatomie, theilweise auch aus der Thatsache, dass die Gerüche nur dann

---

1 Valentin, De functionibus nervorum cerebralium et nervi sympathici. Libri quattuor. Bernae et Sangalli Helvetiorum 1839. Derselbe, Lehrbuch der Physiologie des Menschen II. 2. Abth. Braunschweig 1848. Derselbe, Versuch einer physiologischen Pathologie der Nerven. 2. Abth. Leipzig und Heidelberg 1864.

2 Bidder, Riechen in Wagner's Handwörterbuch der Physiologie II. Braunschweig 1844.

3 R. Wagner, Lehrbuch der speciellen Physiologie. 3. Aufl. Leipzig 1845.

4 Longet, Anatomie und Physiologie des Nervensystems, übersetzt von Dr. J. A. Hein. II. Leipzig 1849. Derselbe, Traité de Physiologie III. 3. Edition. Paris 1869.

wahrgenommen werden, wenn dieselben den oberen Theil der Nasenhöhle treffen. LONGET kann alle Versuche MAGENDIE's nicht gelten lassen, auch nicht den Versuch, mit in Papier eingewickeltem Fleisch, da Hunde die Gewohnheit haben, geballtes Papier aufzumachen.

MALHERBE[1] 1852 kam dagegen der Ansicht von MAGENDIE zu Hilfe und leitet die Geruchsempfindungen vom Trigeminus ab; er will sogar, dass die Gaumenschleimhaut im Stande sei, die verschiedenen Gerüche wie der Blausäure, der Münze, der Opiumtinctur wahrzunehmen; es scheint aber, dass er bei seinen Beobachtungen die Berührung der Dämpfe mit der Nasenschleimhaut nicht berücksichtigt hat.

BERNARD[2] (S. 226 u. fl.) hat sich auch mit dieser Frage beschäftigt; er kritisirt den Versuch MAGENDIE's mit Ammoniak und von dem Versuche mit in Papier eingewickeltem Fleisch sagt er, dass derselbe noch von Niemand wiederholt worden sei; BERNARD führt wohl pathologische Fälle an, setzt aber hinzu, dass dieselben nicht sicher genug seien. Dieser Physiolog äussert sich dahin, dass die Annahme, derzufolge der Olfactorius Geruchsnerv und der Trigeminus sensitiver Nerv sei, nur auf die Analogie mit dem Gesichtssinne sich stütze, er leugnet wohl nicht, dass der Olfactorius eine Bedeutung für den Geruch besitze, er wisse aber nicht, worin dieselbe bestehe und schliesst mit der Bemerkung, dass die Bedeutung des Olfactorius für den Geruchssinn noch nicht mit Sicherheit ermittelt sei. — Es muss gewiss höchst auffallend sein, dass ein so ausgezeichneter Physiolog wie BERNARD eine so reservirte Meinung äussert. Wir können die Angaben BERNARD's nicht verlassen ohne anzuführen, dass er [(l. c.) S. 95] den N. naso-palatinus unempfindlich, den N. infraorbitalis dagegen sehr empfindlich fand und so dahin geführt wurde, die Frage aufzuwerfen, ob nicht der Trigeminus den Geruch theilweise besorge.

SCHIFF[3] unterwarf die Frage, ob das erste Paar das Riechvermögen vermittle, einer erneuerten experimentellen Untersuchung und gelangte zu dem Schluss „der Olfactorius ist also ein Nerv".

SCHIFF benützte, wie BIFFI[4], neugeborne Hunde, da diese die Durchschneidung der Olfactorii sehr gut vertragen. Frösche lassen

---

1 MALHERBE, Sur les propriétés olfactives de la muqueuse palatine. Journ. des connaissances médicales Sept. 1852. p. 487. Aus Canstatt's Jahresber. f. d. Jahr 1852. I. S. 189.

2 BERNARD, Leçons sur la Physiologie et la Pathologie du Systeme nerveux II. Paris 1858.

3 SCHIFF, Der erste Hirnnerv ist der Geruchsnerv. Molesch. Unters. VI. S. 254. 1859.

4 SCHIFF hat nicht angegeben, in welcher Zeitschrift BIFFI seine Beobachtungen mittheilte.

sich nicht verwenden, da dieselben keine befriedigenden Resultate geben. Schiff hat zu seinen Versuchen fünf säugende Hunde benützt, an zweien schnitt er den Tractus olfactorius, an einem den Bulbus olfactorius und an einem anderen das vorderste Ende des Bulbus durch. An dem fünften Hund wurden der Vergleichung wegen bloss die vorderen Hirnlappen bis in die Nähe des Tractus olfactorius durchgeschnitten. Dieser letzte Hund verhielt sich wie ein gesunder, die anderen vier waren aber geruchslos, dieselben waren nicht im Stande, die Zitzen der Mutter zu finden, — eine Beobachtung, welche schon Biffi gemacht hat — sie konnten auch nicht ein fremdes Männchen von ihrer Mutter unterscheiden, sie soffen wohl die Milch, liessen aber das Brod und das Fleisch stehen, das sich darin befand. Wenn das Gefäss, welches die Milch enthielt, mit einem Papier bedeckt war, entfernten die Hunde das Papier nicht, um die Milch zu saufen. Sie tranken die Milch auch, wenn der Rand des Milchgefässes mit Tabackjauche beschmiert war. Befand sich die Milch in einem anderen Gefäss als dem gewöhnlichen, so liessen die operirten Hunde erstere stehen. Trockenes Fleisch oder Brod wurden von den Hunden nur dann gefressen, wenn diese Substanzen mit dem eigenen Speichel befeuchtet waren, schweflige Säure incommodirte sie nicht, Ammoniak und Aether machten die Hunde den Kopf wegwenden und niesen, die Wirkung trat langsam und spät ein; Chloroform oder Aether erzeugte Speichelfluss und die Essigsäure erregte nur in sehr concentrirtem Zustand und sehr langsam Widerwillen.

Gianuzzi[1] erhielt bei Durchschneidung der Olfactorii einige Resultate, welche die Ansicht von Magendie zu unterstützen scheinen, nämlich dass die Empfindlichkeit für Gerüche nach dieser Operation nicht gestört sei; die Versuche von Prévost haben aber die Angaben Gianuzzi's nicht bestätigt (siehe später).

Vulpian[2] (S. 661, Note) theilt mit, dass bei alten Leuten der Geruch fehle und dass bei denselben gewöhnlich eine beinahe vollständige Atrophie der Processus olfactorii zu finden sei. Prévost hat auf Veranlassung Vulpian's darüber der Société de Biologie[3] Mittheilungen gemacht. — Ferner hat Vulpian [(l. c.) S. 882] mit Philipaux bei Jagdhunden die Bulbi olfactorii zerstört, die so operirten Hunde waren, obwohl sie gefastet hatten, nicht im Stande das im Laboratorium versteckte Fleisch zu finden.

---

1 Gianuzzi, Recherches physiologiques sur les nerfs de l'Olfaction. Compt. rend. d. l. soc. d. biologie 1863. V. 3. serie. p. 97. Citirt nach Milne Edwars, Leçons sur la Physiol. etc. XI. p. 471.

2 Vulpian, Leçons sur la Physiologie générale et comparée du systéme nerveux. Paris 1866.

3 J. L. Prévost, Atrophie des nerfs olfactifs fréquente chez les vieillards et correspondant avec la diminution ou la perte du sens de l'odorat. Mém. de la soc. de biologie 1866. III. 4. Serie. p. 69. Citirt nach Milne Edwars, Leçons sur la Physiologie etc. XI. p. 470.

Prévost[1] fand, dass die Durchschneidung des N. nasopalatinus weniger schmerzhaft als jene des N. infraorbitalis und N. dentalis sei und da Bernard (siehe oben S. 239) glaubte, dass der N. nasopalatinus eine Bedeutung für die Wahrnehmung der Gerüche besitze, so hat Prévost einige Versuche an Hunden vorgenommen und zwar mit Exstirpation beider Ggl. spheno-palatina. Das Riechvermögen wurde mit Fleisch, mit Ammoniak, mit Benzin und mit Aether geprüft. Prévost gelangte zu dem Resultate, dass die Entfernung jener Ganglien keine wesentliche Störung weder des Geruches noch des Gefühles an der Riechschleimhaut bedingt. — Auch die Angaben Gianuzzi's (siehe oben S. 240) wurden von Prévost[2] einer experimentellen Prüfung unterworfen, aber nicht bestätigt gefunden. Nach der vollständigen Durchschneidung der Olfactorii war immer auch der Geruch vollständig erloschen.

Althaus[3] (S. 565) führt eine Beobachtung von Lähmung beider Trigemini an, der Geruchssinn war bei dem Kranken vollkommen normal, die Nasenschleimhaut dagegen vollständig unempfindlich. — Diese Beobachtung spricht ebenfalls dafür, dass der Olfactorius der Geruchsnerv ist.

Wenn man die Versuche von Valentin, von Schiff und von Prévost in Erwägung zieht, die eben beweisen, dass nach Zerstörung der Olfactorii auch der Geruchssinn vernichtet ist, wenn man weiter die verschiedenen Beobachtungen an Menschen berücksichtigt, bei welchen constatirt ist, dass nach Degeneration der Olfactorii in Folge von verschiedenen Erkrankungen das Geruchsvermögen entweder vermindert oder sogar abolirt ist, wenn man in Erwägung zieht, dass auch beim Geruchsorgan ganz eigenthümlich geformte Endgebilde vorhanden sind, welche bloss an jenen Stellen des Organs vorkommen, an welchen die Geruchsnerven sich verbreiten, und welche als Angriffspunkte für die specifischen Reize dienen, und wenn man endlich berücksichtigt, dass nach Durchschneidung des Olfactorius das Riechepithel, wenigstens bei Fröschen, ganz eigenthümliche Veränderungen erleidet (siehe später S. 242), so wird man nicht mehr zweifeln, dass das erste Nervenpaar, der Olfactorius, ein specifischer Nerv ist, und zwar für die Geruchsreize. Es sei auch bemerkt, dass

1 J. L. Prévost, Recherches anatomiques et physiologiques sur le ganglion spheno-palatin. Arch. d. physiol. norm. et pathol. I. p. 7—21 und 207—232. 1868.
2 J. L. Prévost, Note rélative aux fonctions des nerfs de la première paire. Arch. des sciences XXII. Citirt nach R. Virchow und A. Hirsch, Jahresber. über die Leistungen und Fortschritte etc. IV. Jahrg. Bericht f. d. Jahr 1869. I. Berlin 1870.
3 J. Althaus, Zur Physiologie und Pathologie des Trigeminus. Deutsch. Arch. f. klin. Med. VII. S. 563. 1870.

die directe mechanische und chemische Reizung des Olfactorius bei Thieren weder Schmerzäusserung noch Reflexbewegungen hervorruft.

Wie früher bei der Physiologie des Geschmackssinnes (III. 2. S. 179) erwähnt wurde, soll nach Ferrier[1] das Geruchscentrum in dem Girus uncinatus liegen.

2. Methoden der Durchschneidung des N. Olfactorius.

Valentin (De functionibus etc. cit. S. 238), Magendie (Vorlesungen etc. cit. S. 235), Schiff (Der erste Hirnnerv etc. cit. S. 239) haben Methoden beschrieben, die sie anwandten, um die Olfactorii bei Säugethieren zu durchschneiden oder zu zerstören. — Im Allgemeinen werden die Weichtheile des vorderen Schädeltheils parallel zur Mittellinie und etwas seitlich von derselben, um den Sinus frontalis zu vermeiden, bis zum Knochen durchgetrennt, der Knochen trepanirt und durch die gemachte Oeffnung mittels einer Nadel oder eines Messerchen die Olfactorii oder die Ganglia olfactoria durchgeschnitten (vgl. Cyon[2] S. 510).

Colasanti (cit. S. 228) hat die Geruchsnerven bei Fröschen durchgeschnitten, indem er eine Staarnadel von oben her in den Schädel des Frosches einstach und zwar genau in der Medianlinie zwischen den beiden Augäpfeln an einer Stelle, die etwa der Grenze zwischen dem vorderen und den beiden hinteren Dritteln des Augapfels entspricht. Mittels seitlichen Bewegungen der durch die knöcherne Schädeldecke eingeführten Staarnadel gelingt es ganz sicher, die beiderseitigen Geruchsnerven zu durchschneiden.

Exner (cit. S. 228) hat nach Eröffnung des vordersten Antheils der Schädelhöhle beim Frosche mit einer Scheere die Tracti olfactorii, wo sie unter dem Grosshirn hervortreten, durchgeschnitten, und die Stelle, an welcher die Aeste des Olfactorius durch die Knochen treten, auf das Sorgfältigste von jeder Nervenmasse gereinigt.

3. Anatomische Folgen der Durchschneidung des Olfactorius.

Schiff [Der erste Hirnnerv etc. (cit. S. 239)] konnte an dem peripheren Theile des bei Hunden durchgeschnittenen Olfactorius keine Degeneration beobachten. Die Olfactoriusfasern verhielten sich gegen die gewöhnlichen Reagentien wie im normalen Zustande.

Colasanti (cit. S. 228) fand ebenfalls bei Fröschen nach der genannten Operation weder eine Veränderung in den Nervenfasern noch in den die Riechschleimhaut bedeckenden Zellen.

Hoffmann[3] beobachtete dagegen bei seinen Versuchen an Ka-

---

1 D. Ferrier, Die Functionen des Gehirnes. Uebers. von Dr. H. Obersteiner. Braunschweig 1879.

2 E. Cyon, Methodik d. physiologischen Experimente u. Vivisectionen Giessen u. St. Petersburg 1876.

3 C. K. Hoffmann, Diss. inaug. Amsterdam 1866. Vergl. Henle und Meissner's Jahresber. f. d. J. 1866.

ninchen und Fröschen, dass mit den Nervenfasern auch die Epithel- und die Riechzellen gleichmässig von der Fettentartung betroffen werden.

Die von HOFFMANN an Fröschen gemachten Beobachtungen wurden von EXNER (cit. S. 228) bestätigt, welcher eben angibt, dass beide Zellarten und die Nervenfasern zuerst eine fettige Degeneration erleiden, und dass nach zwei Monaten an Stelle des durch eigenthümliche Flimmerhaare und verhältnissmässig immense Höhe ausgezeichneten Riechepithels des Frosches ein mässig hohes, keinerlei hervorragende Eigenschaften darbietendes, flimmerloses Cylinderepithel vorgefunden wird. Die Riechzellen (M. SCHULTZE) wandeln sich, indem sie zugleich kürzer werden, in jene Ersatzzellen um, die man auch in anderen Cylinderepithelien findet. Bei Kaninchen dagegen gelangte EXNER zu keinem Resultat, er hat jedoch den Gegenstand bei diesen Thieren nicht weiter verfolgt.

III. Mechanische Einrichtungen der Nasenhöhle.

1. *Vorbemerkungen.*

Beim Auge und beim Gehör finden wir complicirte Einrichtungen, um den adäquaten Reiz bis zur Nervenendigung zu leiten, aber auch beim Geruchsorgan sind einige mechanische Vorkehrungen getroffen, mittels welchen die mit Riechstoffen geschwängerte Luft bis zur Riechschleimhaut gelangen kann. BIDDER (cit. S. 238).

Das Riechbare muss durch eine Luftströmung der Nase zugeführt werden. Bringt man z. B. eine stark riechende Substanz (Ammoniak, Campher) unter die Nase, so wird man, so lange der Athem angehalten, oder bloss durch den Mund respirirt wird, keinen Geruch wahrnehmen. [BIDDER (cit. S. 238), WAGNER (cit. S. 238), J. MÜLLER (cit. S. 237), LONGET.[1]] Wir können diese Verhaltungsmassregel auch benützen, wenn wir durch eine übelriechende Atmosphäre gehen. LONGET (l. c.) gibt an, dass, wenn wir die Geruchsempfindung vermindern wollen, wir zuerst eine starke Exspiration ausführen, und hierauf durch den Mund inspiriren, dabei soll sich der weiche Gaumen heben und so die Bewegung der Luft innerhalb der Nase vermindern.

WEISS[2] hat, um die Geruchsempfindung willkürlich zu unterdrücken,

1 LONGET, Traité de Physiologie III. 3. Ed. Paris 1869.

2 WEISS, Ueb. ein Verfahren, die Geruchsempfindung nach Belieben zu sistiren. Oesterr. Zeitschrift für Heilkunde. Nr. 13. 1866, nach Jahresber. über die Leistungen und Fortschritte in der gesammten Medicin von R. VIRCHOW u. A. HIRSCH. I. S. 134. 1866.

den jedenfalls schwer auszuführenden Vorschlag gemacht, den Zugang zur Nasenhöhle durch das Gaumensegel zu verschliessen; unwillkürlich üben wir diese Praxis beim Schlucken, Gurgeln u. s. w., willkürlich nach Weiss' Rath durch flüsterndes Aussprechen von p nach tiefer Inspiration.

Nach Hutin[1] soll die Anwachsung des weichen Gaumens an der hinteren Wand der Pharynxhöhle Anosmie erzeugen.

Dass auch bei unterdrückter In- und Exspiration die riechenden Theilchen in die Nase eindringen, kann man sehr leicht dadurch beweisen, dass unter die Nase solche Stoffe gehalten werden, welche gleichzeitig auch die Gefühlsnerven erregen; in einem solchen Fall beobachtet man alle jene Erscheinungen (Stechen, Prickeln, Thränenabsonderung), welche eben von den sensitiven Nerven abhängen [Bidder (cit. S. 238), Valentin[2], Picht (cit. S. 237), Dugés (cit. S. 237)]. Aber auch beim gewöhnlichen Athmen ist die Geruchsempfindung nicht sehr deutlich — besonders bei schwach riechenden Stoffen — erst, wenn wir eine tiefe Inspiration und noch mehr, wenn wir hintereinander mehrere kurze und tiefe Inspirationen ausführen, tritt die Geruchsempfindung deutlich hervor.

Bidder [(cit. S. 238) S. 920] und Fick[3] (S. 100) führen an, dass bei jeder kräftigen Einathmung die Nasenlöcher sich erweitern, und diese Erweiterung der Nasenlöcher fördert überhaupt das Riechen insofern, als dadurch der ganze Luftstrom verstärkt wird. Auch Valentin [(cit. Note 2) S. 286] gibt an, dass beim Aufriechen oder Schnüffeln die Nasenlöcher sich erweitern.

Wir müssen aber hier erwähnen, dass Bell [(cit. S. 237) S. 133] Folgendes anführt: „In jedem Nasenloch befinden sich zwei kreisförmige Oeffnungen, von denen die innere etwas über einen halben Zoll von der äusseren absteht. Der innere Ring dehnt sich beim vollen Einathmen aus und kommt niedriger zu stehen; beim Riechen dagegen wird er verengt und in die Höhe gezogen. Diese Veränderung in der Gestalt und Beziehung des äusseren und inneren Nasenloches wird durch eine die Knorpel bewegende Action der Muskeln bewirkt, wodurch der Luftstrom intensiv verstärkt und aufwärts nach dem Sitz des Geruchssinnes getrieben wird.“

Es sei hier bemerkt, dass man das Vorhandensein der inneren Oeffnung an sich selber mittels eines Spiegels sehr gut beobachten kann. Dieselbe tritt besonders deutlich zum Vorschein, wenn beim

---

1 Hutin, angef. von Poinsot, Olfaction in Nouveau dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques XXIV. 1877.

2 Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen II. 2. Abtheilung Braunschweig 1848.

3 Fick, Lehrbuch der Anatomie und Physiologie der Sinnesorgane. Lahr 1864.

ruhigen Athmen die Oberlippe und mit ihr die Nasenscheidewand herabgezogen wird, macht man nun zugleich Respirationsbewegungen wie beim Schnüffeln, so wird man deutlich sehen, wie durch das Einsinken des Nasenflügels die innere Oeffnung etwas enger wird; dass dieselbe zugleich auch höher zu stehen komme, konnte ich bei mir nicht beobachten. Ausserdem kann man sich auf sehr verschiedene Weise überzeugen, dass beim tiefen Einathmen durch die Nase die Nasenlöcher sich nicht erweitern, sie ändern entweder ihre Gestalt gar nicht oder sie werden etwas enger.

Diday[1] hat ebenfalls eine Verengerung der Nasenlöcher wahrgenommen und Funke[2] machte eine ähnliche Beobachtung an sich selbst und an Hunden. Braune und Clasen[3] geben sogar an, dass bei kurzen und heftigen Inspirationen die Nasenlöcher fast bis zum völligen Verschluss gebracht werden könnten, wenn die Muskeln nicht die Nasenflügel feststellen würden und man könne die Wirkung dieser Muskeln bei Dyspnoe sehen. Diday[4], um die Wichtigkeit der Verengerung des Nasenloches für das Riechen zu beweisen, theilt mit, dass, wenn man durch eine Glasröhre, welche das Nasenloch erweitert, die mit einem Geruch beladene Luft inspirirt, fast gar keine Geruchsempfindung zu Stande kommt.

2. *Die anatomischen Verhältnisse der Nasenhöhle.*

Wir müssen nun auf einige anatomische Verhältnisse näher eingehen, welche vorzugsweise von H. Meyer[5]) (vgl. auch Fick [cit. S. 244]) näher berücksichtigt wurden.

An einem Querschnitt der Nasenhöhle lassen sich zwei von einander abgegrenzte Theile leicht unterscheiden, der obere Theil stellt eine schmale Spalte dar, welche seitlich von der Lamina turbinalis des Siebbeins und der Nasenscheidewand begrenzt wird. In der Schleimhaut, welche die Wände dieser Spalte überzieht, finden wir die Verästelungen des Olfactorius und deshalb wird diese Spalte die Geruchsspalte, Fissura olfactoria genannt. Den unteren Theil, der bedeutend geräumiger ist als der obere, und ein wenig von der in ihn hineinragenden unteren Muschel beengt wird, nennt man auch den Luftweg, Athmungsweg, Luftgang, Ductus aëriferus im engeren Sinne. — Die Geruchs-

1 Diday, Mémoire sur les appareils musculaires annexés aux organes des sens. Gaz. méd. de Paris 1838. Angeführt nach Longet, Traité etc. (cit. S. 243).

2 Funke, Lehrbuch der Physiologie II. 3. Aufl. Leipzig 1860.

3 W. Braune und F. E. Clasen, Die Nebenhöhlen der menschlichen Nase in ihrer Bedeutung für den Mechanismus des Riechens. Ztschr. für Anat. u. Entwicklungsgeschichte II. S. 1 u. folg. 1876.

4 Angeführt nach Poinsot, Olfaction in Nouveau etc. cit. S. 244, und Todd, The Cyclopaedia IV. Part. I. p. 552. London 1847—49.

5 H. Meyer, Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 2. Aufl. S. 617 u. folg. Leipzig 1861.

spalte und der Athmungsweg stehen mit einander in Communication durch eine verhältnissmässig sehr enge Spalte, welche von dem unteren, nur in seinem vorderen Theil nach aussen umrollten, horizontalen Rand der mittleren Muschel und von der an dieser Stelle fast nie fehlenden Verdickung der Scheidewand begrenzt wird. — Der untere horizontale Rand der mittleren Muschel steigt vorn schief nach aufwärts (aufsteigender Rand) und an seinem oberen Ende beginnt ein rundlicher Vorsprung (Nasendamm — Agger nasi), welcher nach abwärts sich umbiegt, dann dem Nasenrücken parallel verläuft, zugleich flacher wird und sich bis gegen das vordere Ende des Nasenloches erstreckt; das untere Ende des Nasendammes kann auch an der eigenen Nase mittels eines Spiegels gesehen werden. — Dieser Damm, welcher einen nach oben convexen Bogen beschreibt, bildet somit die Grenze zweier Rinnen, einer hinteren breiteren (Sulcus nasalis), die ziemlich breit ist und in den Luftgang führt, und einer schmäleren vorderen zwischen Nasenrücken und Nasendamm, welche in die Riechspalte führt. — Es sei noch erwähnt, dass die Nebenhöhlen der Nase (Highmors-, Stirn-, Keilbeinhöhlen und die Siebbeinzellen) nach ihrer Ausmündung in die Nasenhöhle sich in zwei Gruppen theilen lassen. Die hinteren Siebbeinzellen und die Keilbeinhöhlen münden in den oberen (Fissura ethmoidalis superior s. Meatus narium superior), die Stirn- und die Kieferhöhlen, sowie die vorderen Siebbeinzellen in den mittleren Nasengang (Fissura ethmoidalis inferior s. Meatus narium medius). Wir können uns hier auf keine weiteren anatomischen Schilderungen einlassen und verweisen auf das oben S. 245 citirte Lehrbuch von Meyer und auf die Abhandlung von Braune und Clasen (cit. S. 245), in welcher die näheren Verhältnisse der Einmündungen der verschiedenen Nebenhöhlen geschildert werden.

3. Der Luftstrom durch die Nase.

Im normalen Leben gehen bekanntlich durch die Nasenhöhle abwechselnd zwei Luftströmungen: der Einathmungsstrom von den Nasenlöchern zu den Choanen und der Ausathmungsstrom in umgekehrter Richtung. — Bei der Einathmung strömt die Luft zuerst in einer Richtung ein, welche senkrecht auf die Ebene der Nasenlöcher ist; dann muss dieser Strom umbiegen, um durch die Choanen in die Pharynxhöhle zu gelangen. Zu der Geruchsspalte selbst kann nur eine sehr geringe Menge Luft gelangen, da der Athmungsweg ziemlich breit ist und der Luftstrom, welcher durch den sulcus nasalis fliesst, von der trompetenartigen Oeffnung des vorderen aufsteigenden Randes der mittleren Muschel (Apertura conchae mediae) aufgefangen und direct in den Pharynx geleitet wird. Ein kleiner Theil aber der Einathmungsluft wird in die Rinne, welche oberhalb des Nasendammes unmittelbar am Nasenrücken sich befindet, strömen und so in die Geruchsspalte gelangen.

Bei der Ausathmung schlägt dagegen der Luftstrom fast aus-

schliesslich den Athmungsweg ein, weil die Geruchsspalte hierbei von jenem beinahe vollständig abgesperrt ist. Die Geruchsspalte wird nämlich durch den Keilbeinkörper wie durch einen Schirm geschützt [Fick (cit. S. 244)]; ausserdem liegt das hintere Ende der mittleren Muschel dem oberen Rande der Choanen sehr nahe und über demselben befindet sich noch ein kleiner Raum, durch welchen der Luftstrom nach oben durch die Geruchsspalte dringen könnte. Der kleine Theil des Luftstromes nun, welcher diesen Weg einschlägt, gelangt in den oberen Nasengang, welch' letzterer hinten weiter ist wie vorn und in die Höhle der hinteren Siebbeinzellen übergeht. In Folge hiervon muss auch der zuletzt erwähnte Luftantheil nach unten abgeleitet werden, so dass auch von diesem partiellen Strom nicht viel in die Geruchsspalte eintreten kann.

4. Deductionen aus den mechanischen Einrichtungen der Nasenhöhle.

Aus den eben geschilderten Verhältnissen lassen sich die meisten Erscheinungen erklären, die wir beim Riechen beobachten.

Der Riechact ist regelmässig an die Einathmung geknüpft und je mehr Luft wir einziehen, um so intensiver ist der Sinneseindruck, wir schliessen deshalb den Mund um alle Luft sammt den Riechtheilchen durch die Nase passiren zu lassen. Der mit riechenden Theilchen beladene Ausathmungsstrom erzeugt nur eine schwache Geruchsempfindung, ganz ausgeschlossen ist eine solche allerdings nicht, da wir beim Ructus sehr oft eine deutliche Geruchsempfindung haben.

Ludwig[1] bemerkt, dass bei einiger Aufmerksamkeit der Unterschied im Verbreitungsbezirk der mit Macht eingezogenen und ausgestossenen Luft deutlich wahrgenommen werden könne. Während im ersten Fall der Strom deutlich bis gegen die Decke der Nase aufsteige, beschränke er sich im zweiten auf den unteren und mittleren Nasengang,

Haller[2], Bérard[3] haben die Möglichkeit des Riechens beim Ausathmen geleugnet. Cl. Perrault[4], Debrou[5], Longet (cit. S. 243), Poinsot[6]

1 C. Ludwig, Lehrbuch der Physiologie des Menschen I. 2. Aufl. Leipzig und Heidelberg 1858.

2 Haller, Elem. Physiologiae corporis humani V. p. 173. Lausannae 1769.

3 Bérard, Olfaction in Dictionnaire de medécine XXII. Paris 1840, angeführt nach Longet, Traité etc. (cit. S. 243).

4 Cl. Perrault, Mécanique des animaux III. p. 341. 1. partie chap. III. des Oeuvres de physique et de mécanique. Amsterdam 1727, angeführt nach Longet, Traité etc. (cit. S. 243).

5 Debrou, Peut-on percevoir des odeurs qui arrivent dans le nez par l'ouverture postérieure des fosses nasales? Thése inaug. Paris 1841. 31. Août. No. 266, angeführt nach Poinsot, Olfaction etc. (cit. Note 6).

6 Poinsot, Olfaction in Nouveau dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques XXIV. 1877.

theilen die Ansicht, dass auch beim Ausathmen eine Geruchsempfindung, wenn auch schwächer zu Stande komme.

Debrou führt folgenden Versuch an; er trank Orangenblüthenwasser (eau affaiblie de fleurs d'oranger), welches den Geschmack nicht erregt; gleich nachher exspirirte er durch die Nase und der Geruch trat nun deutlich hervor. Wenn er die Nasenflügel vor der Exspiration zusammenpresste, so fand er, dass die Empfindung in demselben Moment, in welchem er die Nasenflügel wieder losliess, stärker wurde; nach Debrou's Ansicht deshalb, weil die riechenden Theilchen sich mittlerweile in der Nase gesammelt hatten und nun einen künstlichen Strom herstellten, ähnlich (?) dem beim normalen Riechen (flairant).

Auch Bidder[1] (S. 25) hatte beobachtet, dass, wenn man ein Stück Campher in den Mund nimmt, beim Ausathmen durch die Nase ein schwacher Geruch wahrgenommen wird.

Longet (cit. S. 243) führt zwei Beobachtungen an Kranken (Magenkrebs mit einem sehr stinkenden Erbrechen bei dem einen, Lungengangrän beim zweiten) an, welche anfangs, wenn sie durch die Nase exspirirten, den üblen Geruch wahrnahmen, später aber nicht mehr. Endlich berichtet noch dieser Forscher, dass wir beim Genuss von Substanzen, welche sowohl auf den Geschmack als auch auf den Geruch wirken, bei der Exspiration die Geruchsempfindung haben, welche aber fehlt, sobald die Nase geschlossen wird (vgl. auch Geschmackssinn S. 146).

Dass der Geruch von Seite Kranker oder von Individuen, welche stark riechende Substanzen geniessen, nicht fortwährend wahrgenommen wird, rührt davon her, dass die lang andauernde Erregung die Empfindung wesentlich vermindert.

Diejenige Luft, welche durch den vorderen Theil der Nasenlöcher einströmt, ist für das Riechen wesentlicher als jene, welche durch den hinteren Theil derselben eindringt. — Fick (cit. S. 244) steckte ein Kautschukröhrchen mit einem Ende in die Nase mit dem anderen in den Hals einer Flasche, welche eine stark riechende Flüssigkeit enthielt und athmete dann ein. Wurde das Röhrchen in den hinteren Theil des Nasenloches eingeführt, mit der Oeffnung gegen die mittlere oder gar gegen die untere Muschel gerichtet, so konnte fast gar kein Geruch wahrgenommen werden; wurde dagegen die Röhre vorne ganz dicht am Nasenrücken liegend eingeführt, so dass ihre Oeffnung oberhalb des Nasendammes in der früher S. 246 angeführten Rinne sich befand, dann war der Geruch in voller Intensität vorhanden. — Verstopft man das Nasenloch an seinem hinteren Theil, dann ist der Geruch nicht wesentlich beeinträchtigt, wird aber dasselbe nur an seiner vordersten Partie verschlossen, dann ist der Geruch immer sehr schwach. — Daraus lässt es sich vielleicht erklä-

1 Bidder, Neue Beobachtungen üb. die Bewegungen des weichen Gaumens und über den Geruchssinn. Dorpat 1838.

ren, warum der Verlust der Nase sehr häufig Geruchslosigkeit nach sich zieht. [Vergl. auch Cloquet (cit. S. 225) S. 233.] Béclard[1] hat bei Menschen nach Zerstörung der Nase Anosmie beobachtet; Bérard (cit. S. 247) sah jedoch einige Ausnahmen. Cloquet (l. c.) führt auch an, dass solche Personen, welche die Nase verloren haben, den Geruch wieder bekommen, wenn man ihnen ein Röhrchen in die Nasengruben einführt, oder eine künstliche Nase ansetzt.

Nach Fick (cit. S. 244) lassen sich vor der Hand durch die angeführten mechanischen Einrichtungen einige Erfahrungen Bidder's nicht erklären. — „Wenn", sagt Bidder [(cit. S. 238) S. 920] [vergl. auch Bidder (cit. S. 248) S. 25] „ein Strom riechbarer Luft so in die Nase geleitet wird, dass er nicht direct die untere Muschel trifft, z. B. Campherdünste durch die Spitze eines Trichters, so wird die Geruchsempfindung um so schwächer werden, je tiefer die Spitze in die Nasenhöhle eingebracht wird, je mehr also die Ausbreitung der Luft im Vordertheil der Nase und an der unteren Muschel verhindert ist". Fick [(cit. S. 244) S. 100 Note] vermuthet, dass Bidder die Spitze des Trichters bei diesen Versuchen nie ganz vorn dicht an den Nasenrücken gelegt habe.

Bidder hat weiter Folgendes mitgetheilt: Dasselbe Stückchen Campher, das, unter die Nase gehalten, die lebhafteste Geruchsempfindung erregt, hört sogleich in dieser Weise zu wirken auf, sobald man es in die Nase einführt, indem in letzterem Falle nur die Affection der Gefühlsnerven sich erhält. — Dieser Versuch könnte vielleicht eine Erklärung darin finden, dass Bidder das Campherstück in die hintere Partie des Nasenloches eingeführt hat.

Die eben mitgetheilte Beobachtung Bidder's erinnert an eine Angabe Cloquet's (cit. S. 225), derzufolge schon Galenus beobachtet hatte, dass selbst dann, wenn die Nasenhöhlen mit einer riechenden Substanz angefüllt sind, nur bei tiefem Einathmen der Sinneseindruck stattfindet.

Ein pathologischer Fall hat Bidder [(cit. S. 238) S. 921[2]] Gelegenheit geboten einen Versuch anzustellen, dessen Erklärung jedoch noch nicht gegeben ist. Bei einem Manne war in Folge Exstirpation einer Geschwulst die ganze rechte Nasenhälfte und der hintere obere Theil der Nasenscheidewand entfernt worden, so dass die beiden oberen Muscheln der linken Seite frei dalagen. Durch das linke noch erhaltene Nasenloch konnte dieser Mann ganz wohl riechen;

---

1 Béclard angeführt nach Longet in Traité etc. cit. p. 243.
2 Für die ausführliche Beschreibung vergl. Bidder, Neue Beobachtungen etc. (cit. S. 248).

wurde dieses aber geschlossen, so dass der Luftstrom nur durch die künstliche Oeffnung und also unmittelbar zu den beiden oberen Muscheln gelangen konnte, so fand keine Geruchsempfindung statt.

Ebenso unerklärlich ist die weitere Angabe BIDDER's [Riechen etc. (cit. S. 238) S. 923 und Neue Beobachtungen etc. (cit. S. 248) S. 23], dass eine durch andere Mittel als durch das Athmen erzeugte Strömung riechbarer Luft keine Geruchsempfindung veranlasse; man beobachte dies z. B. wenn man in eine Injectionsspritze stark riechende Substanzen giebt und durch Niederdrücken des Stempels die damit imprägnirte Luft in die Nase treibt. Vielleicht ist es möglich, dass BIDDER auch bei diesen Versuchen die Oeffnung der Injectionsspritze bloss an den hinteren Theil des Nasenloches applicirt hat.

BIDDER hat die eben erwähnten Versuche vorgenommen, weil BISCHOFF[1] die Ansicht vertheidigte, dass wenigstens bei Thieren auch ein auf andere Weise, nämlich nicht durch die Respiration bewegter Luftstrom, welcher mit riechenden Stoffen beladen ist, eine Geruchsempfindung zu erregen vermag, sobald dieser Luftstrom die innere Nase trifft.

BIDDER [(Riechen etc. cit. S. 238) S. 922] fühlt sich aus seinen verschiedenen Versuchen veranlasst zu behaupten, dass die untere Muschel „an der specifischen Geruchsempfindung" einen ganz unbestreitbaren Antheil habe. FICK (cit. S. 244) bemerkt aber, dass diese Ansicht durch die von BIDDER mitgetheilten Erfahrungen noch nicht genügend bewiesen sei, soviel gehe jedoch aus denselben hervor, dass ein besonderer Mechanismus des Luftstromes für den Riechakt nothwendig ist. (Ueber die Bedeutung der unteren Muschel vergleiche auch später S. 251.)

5. *Die Nebenhöhlen der Nase.*

Die Nebenhöhlen der Nase dienen gewiss nicht zur Perception der Gerüche. Die anatomische Beobachtung, dass der Olfactorius keine Zweige zur Schleimhaut derselben sendet, wäre hinreichend, um die angeführte Behauptung zu begründen; wir besitzen aber auch directe Versuche, welche beweisen, dass, wenn die Riechstoffe mit der Schleimhaut der Nebenhöhlen in Berührung kommen, gar keine Geruchsempfindung zu Stande kommt.

---

1 BISCHOFF, Encycl. Wörterbuch der med. Wissenschaften. Herausg. zu Berlin XIV. Artikel Geruchssinn. S. 439, angeführt nach BIDDER, Neue Beobachtungen etc. (cit. S. 248).

Dechamps[1] injicirte Riechstoffe in die geöffnete Stirnhöhle, Richerand[2], Bidder [(cit. S. 248) S. 26], Hyrtl[3] haben Riechstoffe in die geöffnete Highmorshöhle eingeführt. Die Patienten hatten keine Geruchsempfindung.

Ueber die physiologische Bedeutung dieser Höhlen sind jedoch die Acten noch nicht geschlossen.

J. Müller [(cit. S. 237) II, S. 487] scheint den Nebenhöhlen der Nase bloss die mechanische Bedeutung einer Erleichterung des Gewichtes des Gesichtsskeletes zuzuschreiben, eine Ansicht, welche auch von Henle[4] (S. 856) ausgesprochen wird. Braune und Clasen (cit. S. 245) haben berechnet, dass, wenn die Nebenhöhlen der Nase mit spongiöser Knochensubstanz ausgefüllt wären, der Kopf um etwa 1% stärker belastet sein würde; dies hätte immerhin eine Bedeutung, da die Mehrbelastung nicht den gesammten Kopf gleichmässig betreffen würde, sondern ziemlich weit nach vorn zu liegen käme.

Bidder [Neue Beobachtungen etc. (cit. S. 248) S. 26 und Riechen etc. (cit. S. 238)] äussert die Ansicht, dass die Bedeutung der Nebenhöhlen in der Erhaltung des normalen Feuchtigkeitsgrades der Nasenschleimhaut zu liegen scheine, da bei jeder Kopfstellung aus einem oder dem anderen dieser Hilfsräume das Sekret in die Nasenhöhle abfliessen könne.[5] Dieser Ansicht hat sich auch Hyrtl[6] angeschlossen. Braune und Clasen (cit. S. 245) sprechen sich aus anatomischen Gründen gegen eine solche Auffassung aus.

Für Valentin [(cit. S. 244) S. 289] ist der Nutzen der Nebenhöhlen der Nase noch völlig unbekannt und da dieselben erst zur Zeit der Geschlechtsreife ihre vollkommene Ausbildung erlangen, während der Geruchssinn schon früher den nöthigen Grad von Schärfe erreicht, so könne man mit Recht vermuthen, dass die Nebenhöhlen keine Hauptrolle für das Riechen übernehmen.

Nach Meyer [(cit. S. 245) S. 622] haben die Nebenhöhlen dieselbe Bedeutung wie die untere Muschel, sie erwärmen nämlich die inspirirte Luft, ehe sie in den Kehlkopf gelangt; die untere Muschel er-

---

1 Deschamps, Des maladies des fosses nasales et de leur sinus. p. 62. Paris 1803, angeführt nach Longet, Traité etc. (cit. S. 243).

2 Richerand, Eléments de physiologie II. 10. Ed. p. 272. Paris 1833, angeführt nach Longet, Traité etc. (cit. S. 243).

3 Hyrtl, Lehrbuch der Anatomie des Menschen. 2. Aufl. S. 399. Wien 1851.

4 Henle, Handb. der Eingeweidelehre des Menschen. 2. Aufl. Braunschweig 1873.

5 Malacarne (I sistemi e la reciproca loro influenza. Padova 1803), Weinhold (Ideen über die abnormen Metamorphosen der Highmorshöhle. S. 31. Leipzig 1810), Treviranus (Biologie VI. S. 262) halten die Nebenhöhlen der Nase nur für ein grosses Absonderungsorgan (angeführt nach Eble, Versuch einer pragmatischen Geschichte der Anatomie und Physiologie vom Jahre 1800—1825. Wien 1836).

6 Hyrtl, Handbuch d. topographischen Anatomie I. 5. Aufl. S. 299. Wien 1865.

wärme die Luft direct, die Nebenhöhlen dagegen indirect durch Beimengung erwärmter Luft.

Hilton[1] hat die Ansicht aufgestellt, dass die Nebenhöhlen in directer Beziehung zu dem Mechanismus des Riechens stehen. — E. Weber (nach Braune und Clasen) sprach in seinen Vorlesungen die Vermuthung aus, dass die Higmorshöhle wegen ihrer Einmündung in die Regio olfactoria in Beziehung zum Riechen stehen müsse. — Bérard[2] behauptet, dass die Sinus dazu dienen, um die mit Gerüchen beladene Luft in alle Nasenräume zu leiten, und wenn, nachdem wir bereits aufgehört haben zu riechen, später wieder ein Geruch auftritt, so rühre dies wahrscheinlich davon her, dass die riechende Luft, welche in die Sinus gelangt ist, nun aus denselben ausströmt.

Braune und Clasen haben die Ansicht von Hilton und Weber angenommen. Sie massen am lebenden Menschen, indem sie ein Manometer luftdicht in das eine Nasenloch einführten, den negativen Druck, welcher, wenn unter verschiedenen Bedingungen — bei geöffnetem oder geschlossenem Munde, bei Veränderungen des noch freien Nasenloches — inspirirt wird, innerhalb der Nasenhöhle auftritt. Zugleich stellten sie auch Controlversuche an der Leiche an, indem sie je ein Manometer in ein Nasenloch und in eine Oberkieferhöhle einführten. Durch diese Versuche fanden sie, dass mit der Inspiration eine Luftverdünnung sowohl in der Nasenhöhle, wie auch in den Nebenhöhlen zu Stande kommt, und dass der Grad dieser Verdünnung von der Tiefe und Schnelligkeit der Athembewegung abhängt. Daraus haben die Verfasser den weiteren Schluss gezogen, dass indem die Luft allmählig wieder in die zuvor unter negativen Druck befindlichen Nebenhöhlen eindringt und das Gleichgewicht herstellt, in Folge der Lage der Verbindungsgänge der Nebenhöhlen die gesammte Regio olfactoria bestrichen wird. Die gerade nach aufwärts führende Richtung der Nasenlöcher begünstige noch diese Strömung.

Der von den Verfassern gezogene Schluss scheint mir indess nicht ganz gerechtfertigt; so lange nämlich die Inspiration dauert, dauert auch das Auspumpen der Luft aus den Nebenhöhlen, das Gleichgewicht kann somit erst nach Vollendung der Inspiration hergestellt werden, wir haben aber eine sehr deutliche Geruchsempfindung schon gleich im Beginne der Inspiration.

1 Hilton, Notes of the developmental and functional relations of certain portions of the cranium. London 1855, angeführt nach Braune und Clasen (cit. S. 245).

2 Bérard, Olfaction etc. (cit. S. 247). Vergleiche auch Poinsot, Olfaction etc. (cit. S. 247).

ZWEITES CAPITEL.

Die Reize für das Geruchsorgan.

I. Elektrische Reize.

Unsere Kenntnisse über die Erregung einer Geruchsempfindung durch elektrische Reize sind noch höchst spärlich und auch die wenigen positiven Beobachtungen, die wir besitzen, sind nicht über jeden Zweifel erhaben.

Volta [1] in seinen Nuove osservazioni sull' elettricità animale, (veröffentlicht im Giornale fisico-medico del Signor Brugnatelli, Novembre 1792) sagt, dass er vergebens versucht habe, den Gehörs- und Geruchssinn mit Elektricität zu reizen. — Auch in seinem Brief an Banks, [2] 1800, erwähnt Volta, dass es ihm unmöglich war, mit der Säule den Geruchssinn zu erregen. Er hatte wohl in der Nase ein Kribeln (picotement) mehr oder wenig schmerzhaft und Bewegungen (commotions) mehr oder weniger ausgedehnt, je nachdem der Strom mehr oder weniger stark war. — Den Grund des negativen Resultates sucht Volta darin, dass die Geruchsnerven nur durch Reize erregt werden, welche durch die Luft sich fortpflanzen und fähig sind, den Nerv auf geeignete Weise zu erregen.

C. H. Pfaff [3] (S. 147) konnte mit einfacher Armatur keine Geruchsempfindung erhalten und nur S. 312 sagt er, dass die durch Elektricität erzeugte Geruchsempfindung die meiste Aehnlichkeit mit derjenigen habe, welche der Phosphor erregt. In diesem Falle handelt es sich aber blos um die Reibungselektricität und nicht um directe Reizung des Olfactorius. — Pfaff hat auch im Jahre 1828 [4] (S. 739) lange nachdem Ritter seine Beobachtungen mitgetheilt hatte, erwähnt, dass die Einwirkung der galvanischen Kette ohne merklichen Erfolg auf das Geruchs- und Gehörsorgan bleibt, sofern nämlich von Erregung der diesen Sinnen zukommenden specifischen Empfindungen die Rede ist.

Fowler [5] 1796 (S. 116) und Humboldt [6] (S. 321—322) hatten auf elektrische Reize keine Geruchsempfindung. Letzterer konnte wohl, wenn

1 Collezione delle opere del cav. conte Alessandro Volta II parte I. Firenze 1816.

2 Collezione etc. II parte II.

3 C. H. Pfaff, Ueber thierische Elektricität und Reizbarkeit. Ein Beitrag zu den neuesten Entdeckungen über diese Gegenstände. Leipzig 1795.

4 Gehler's physikalisches Wörterbuch, neu bearbeitet von Brandes, Gmelin, Horner, Muncke, Pfaff IV. 2. Abth. Leipzig 1828. Artikel Galvanismus.

5 A. Monro und R. Fowler, Abhandlung über thierische Elektricität und ihren Einfluss auf das Nervensystem. Leipzig 1796.

6 F. A. von Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser, nebst Vermuthungen über den chemischen Process des Lebens in der Thier- u. Pflanzenwelt I. Posen u. Berlin 1797.

er eine Zinkstange zwei Linien tief an die innere Zwischenwand der Nasenlöcher einführte und dieselbe mit einer auf der Zunge befindlichen Silbermünze in Berührung brachte, einen sonderbaren Kitzel, von Kälte begleitet, in der Nase bemerken, sowie Drücken im Kopfe und eine Neigung zum Niesen, wenn er den Versuch fortsetzte. HUMBOLDT bemerkt aber ganz richtig, dass „diese Empfindungen" blos dem allgemein verbreiteten „Sinn des Gefühls" angehören.

Wir gelangen nun zu RITTER, welcher bei elektrischer Reizung des Geruchsorgans ganz eigenthümliche Erscheinungen beobachtete.

Die diesbezügliche erste Arbeit RITTER's erschien im Jahre 1798.[1] In dieser beschreibt er, wie er ein Stück Reissblei und ein Stück Zink so tief als möglich in die Nasenhöhle einführte, sanft an die Nasenwand andrückte und dann beide Metalle mit einander verband. Er hatte sowohl beim Schliessen der Armatur als auch während des Geschlossenseins derselben eigenthümliche Empfindungen, jedoch keine Geruchsempfindungen. Er vergleicht diese Empfindungen in der Nase mit jenen, die man hat, wenn man in die Sonne sieht, oder wenn man Tabak schnupft. Wenn der Versuch lange dauerte, dann blieb in der Nase für längere Zeit eine Empfindung zurück, die der bei dem gewöhnlichen Schnupfen sehr ähnlich ist. RITTER fügt noch hinzu: „Ich überlasse es Jedem, nach Anstellung dieses leicht zu machenden Versuchs zu entscheiden, ob die Nase dabei blos als Organ des Gemeingefühls oder zugleich als Geruchsorgan afficirt werde." Obwohl die beschriebenen Erscheinungen gewiss nur Gefühlsempfindungen sind, so scheint doch RITTER geneigt zu sein, dieselben von der Erregung der Geruchsnerven abzuleiten. In der eben citirten Abhandlung spricht er sich nicht bestimmt aus, wohl aber in jener, die er im Jahre 1801[2] (S. 460—462) veröffentlichte: „Versuche mit der Batterie haben mich indessen bewogen, wirklich für das letztere (Geruchsorgan) zu entscheiden"; und nun beschreibt RITTER die Versuche, die er mit einer VOLTA'schen Säule von 20 Lagen Zink und Kupfer anstellte. Die Enden der Batterie bestanden aus abgerundeten, gehörig starken Eisendrähten, welche in die beiden Oeffnungen der Nase bis zu einer beträchtlichen Höhe hinauf geführt wurden. Die Empfindungen, welche RITTER hatte, passen aber nicht so sehr auf eine Geruchs-, als vielmehr auf eine Gefühlsempfindung. Er spricht nämlich von einem heftigen, drückenden Schmerz auf der Zinkseite, von einer unausstehlich stechenden und schneidenden Empfindung auf der Silberseite; er spricht von einem heftigen Drang zum Niesen, welcher „ausdrücklich nur auf der Silberseite oder in der Nasenhöhle, die mit dem Silberdrahte der Batterie in Verbindung steht", wahrnehmbar ist. „Auf der Zinkseite kann man eben so deutlich ausser dem das Gemeingefühl angehenden Schmerze ... eine Modification der Nase als Organ des Geruchs wahrnehmen, diese aber ist keineswegs so niesenerregend wie jene, sondern geht

1 J. W. RITTER, Beweis, dass ein beständiger Galvanismus den Lebensprocess in dem Thierreich begleite nebst neuen Versuchen und Bemerkungen über den Galvanismus. Weimar 1798.

2 J. W. Ritter, Versuche und Bemerkungen über den Galvanismus der VOLTA'schen Batterie. 2. Brief. Wirkung des Galvanismus der VOLTA'schen Batterie auf menschliche Sinneswerkzeuge. Gilbert's Annal. d. Physik VII. S. 448. Halle 1801.

vielmehr auf das gerade Gegentheil von jenem aus." — Ich glaube, dass man es auch bei diesen Beobachtungen RITTER's nur mit Gefühlsempfindungen zu thun hat. — RITTER wiederholte die Versuche in der Art, dass er den einen Draht der Batterie in der Hand hielt, den anderen in eine Nasenöffnung führte. Wird die Silberseite der Batterie in die Nase geführt, dann hat man „einen grossen Drang zum Niesen", führt man nun rasch die Zinkseite in die Nase, so wird die Disposition dieses Organs zum Niesen allmählich aufgehoben „und so ganz aus ihr entfernt, dass kein Gedanke darin mehr zurückbleibt und doch ist während dessen die Nase der Einwirkung der Batterie so gut ausgesetzt wie vorhin." Endlich erwähnt RITTER, dass die Empfindung an der Silberseite der Batterie einige Aehnlichkeit mit der hat, „welche der Geruch des Ammoniaks in der Nase erregt". Nur diese letzte Erscheinung kann für eine Geruchsempfindung sprechen. Aber auch in einer späteren Abhandlung [1] spricht RITTER fortwährend von schlagen, von stechen und schneiden und niemals von einer eigentlichen Geruchsempfindung. — In einer letzten Schrift [2] endlich, in welcher auch von der Umkehrung der Empfindungen beim Oeffnen der Batterie die Rede ist, schildert RITTER die Erscheinungen mit folgenden Worten: „In der Nase erregt der negative Pol einen Drang zum Niesen, endlich dieses selbst, und zuweilen eine Spur von Geruch nach Ammoniak. Der positive Pol hingegen hebt die vorhandene Fähigkeit zum Niesen auf, und bringt überhaupt eine Abstumpfung der Nase, wie etwa durch oxygenirte Salzsäure, hervor. Zuweilen hat man selbst deutlich eine Art von saurem Geruch. Beide Wirkungen halten mit dem Geschlossenbleiben der Kette an, und jede geht bei der Trennung in die ihr entgegengesetzte über."

Ausser VOLTA, v. HUMBOLDT, FOWLER, RITTER, die wir oben angeführt haben, erwähnt DU BOIS-REYMOND [3] noch folgende Forscher, die sich mit diesem Gegenstande befassten: S. CAVALLO [4], ein Ungenannter im Monthly review for January 1797, der Uebersetzer CAVALLO's J. M. W. BAUMANN, welche eine Geruchsempfindung wahrgenommen haben sollen, und GRAPENGIESSER, welcher keinen Geruch wahrnahm.

Der Ungenannte und BAUMANN [5] haben bei absteigendem Strom einen fauligen Geruch wahrgenommen, was, wie DU BOIS-REYMOND bemerkt, sich sichtlich mit der RITTER'schen Angabe von der ammoniakalischen Natur dieses Geruches vereinigen lässt. GRAPENGIESSER [6] hat blos die niesenerregende von einem stechenden und schneidenden Schmerz begleitete Wirkung des absteigenden Stromes bestätigt, während der anders gerich-

---

1 J. W. RITTER, Beiträge zur näheren Kenntniss des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung II. 2. Stück. Jena 1802.

2 J. W. RITTER, Beiträge etc. II. 3. 4. und letztes Stück. Jena 1805.

3 E. DU BOIS-REYMOND, Untersuchungen über thierische Elektricität I. S. 285 die Note. Berlin 1848.

4 S. CAVALLO, Vollständige Abhandl. der theoretischen u. praktischen Elektricität u. s. w. Aus dem Englischen 1797. II. S. 287 Anm.

5 J. M. W. BAUMANN in S. CAVALLO, Vollständige Abhandl. etc. siehe oben.

6 GRAPENGIESSER. Versuche, den Galvanismus zur Heilung einiger Krankheiten anzuwenden. S. 52. Berlin 1801.

tete Strom mehr einen drückenden Schmerz ohne alle Neigung zum Niesen hervorbrachte.

J. MÜLLER (cit. S. 237) sagt, für die Erregung der Geruchsnerven durch die Elektricität spreche die allgemein bekannte Erfahrung, dass die Entwicklung der Elektricität mittels der Elektrisirmaschine von einem Phosphorgeruch begleitet ist. — Es muss aber bemerkt werden, dass, wie SCHÖNBEIN [1] zuerst nachwies, dieser Geruch von Ozon herrührt und somit haben wir es hiebei nicht mit einer elektrischen Reizung des Geruchsnerven zu thun. — J. MÜLLER vermuthet, dass der schwache ammoniakalische Geruch, den RITTER bei Anwendung der Elektricität wahrnahm, eine Gefühlsempfindung gewesen sei.

Der neueste Bearbeiter dieses Gegenstandes ist ROSENTHAL[2]. Er liess sich die Nase nach der Methode von WEBER, die später angeführt werden soll, mit Wasser anfüllen und leitete dadurch den Strom zum Olfactorius. Er kann nicht sagen, dass er dabei etwas gerochen hätte; der Schmerz ist heftig und der Auffassung einer Geruchsempfindung, wenn eine solche vorhanden, nicht günstig. Er meint, dass der Verlust des Geruches (s. unten S. 258) beim Anfüllen der Nase mit Wasser den Versuch nicht beeinträchtigen könne, da dem Strome der Weg zu den tiefer liegenden Stellen des Olfactorius offen steht, auf welche doch das Wasser keinen Einfluss haben kann.

Es sei endlich noch erwähnt, dass ALTHAUS (cit. S. 241) bei einem Manne mit beiderseitiger Trigeminus-Lähmung beobachtet hat, dass bei Application eines gehörig starken constanten Stromes auf die Schleimhaut der Nase eine phosphorartige Geruchsempfindung entstand; ALTHAUS berichtet noch weiter, dass auch bei Application eines sehr starken Stromes auf verschiedene Punkte der empfindungslosen Gesichtshaut ebenfalls ein geringer phosphoriger Geruch auftrat.

II. Mechanische Reize.

Im Jahre 1835 schrieb J. MÜLLER [(cit. S. 237) I, S. 759], dass es ungewiss sei, ob die Geruchsnerven bei mechanischer Reizung einen Geruch vermitteln. Es sei nicht bekannt, dass Erschütterungen der Luft, welche bis zum Geruchsnerven gelangen, eine Geruchsempfindung erregen können.

Bald darauf (1839) hat VALENTIN [De functionibus nervorum etc. (cit. S. 238) S. 11] angeführt, dass eine mechanische Reizung des Olfactorius eine Geruchsempfindung errege; auch später [Lehrbuch der speciellen Physiologie (cit. S. 238) S. 292] führte VALENTIN an, dass das heftige Schnäuzen oder jede starke Erschütterung der Geruchswerkzeuge im Stande sei, bei ihm eine subjective Riechempfindung

1 SCHÖNBEIN, Untersuchungen über das Wesen des Geruches, welcher sich in Folge gewisser chemischer Wirkungen offenbart. Aus einem Brief des Herrn SCHÖNBEIN an Herrn ARAGO. Froriep's neue Not. Nr. 305 (Nr. 19 des XIV. Bd.) Juni 1840. S. 292.

2 J. ROSENTHAL, Ueber d. elektr. Geschmack im Arch. f. Anat. u. Physiol. 1860.

hervorzurufen, welche nicht ganz angenehm sei, und eine Zeit lang anhalte. VALENTIN berichtet weiter, dass bei ihm eine objective Geruchsempfindung von wechselndem bisweilen aber angenehmem Charakter entstehe, wenn er seine Nasenflügel zusammendrücke und hierauf rasch losschnellen lasse. Diese Beobachtung gelang VALENTIN auch, wenn er an Schnupfen litt.

Es ist dies auch die einzige derartige Angabe die wir besitzen. FRÖHLICH[1] (1851), welcher die Versuche genau nach der Methode VALENTIN's wiederholte, hatte gar keine Empfindung.

III. Thermische Reize.

WEBER[2] hat die Nasenhöhle mit Wasser gefüllt, er nahm dabei keinen Geruch wahr, wenn auch die Temperatur desselben 0° oder + 50° betrug, so dass man daraus schliessen muss, dass unter den angeführten Bedingungen Temperaturschwankungen von beträchtlichem Umfange keine Erregung der Geruchsnerven zur Folge haben.

IV. Der specifische Reiz.

Die Geruchsstoffe, die Gerüche, sind der adäquate, der specifische Reiz für die Geruchsnerven; damit aber die Gerüche auf den Olfactorius einwirken können, ist es nothwendig, dass dieselben entweder schon in Gasform sich befinden, oder dass sie sich bei irgend einer Temperatur verflüchtigen können.

Arsen z. B. ist bei gewöhnlicher Temperatur fest und geruchlos, bei dunkler Rothglühhitze verflüchtigt es sich und sein Dampf besitzt einen eigenthümlichen sehr intensiven Geruch (Knoblauchgeruch).

Wir müssen aber alsogleich bemerken, dass nicht alle gasförmigen Körper und nicht alle Substanzen, die sich verflüchtigen lassen, auch riechbar sind. Dagegen wissen wir gegenwärtig, dass beim Menschen (und wahrscheinlich auch bei allen in der Luft lebenden Wirbelthieren) ein tropfbarer Körper, der einen Riechstoff enthält und mit der Nasenschleimhaut in Berührung kommt, gar keine Geruchsempfindung erregt, und dass die Schleimhaut der Regio olfactoria, wenn sie von einer, scheinbar auch unschädlichen Flüssigkeit benetzt wird, die Fähigkeit, Geruchseindrücke aufzunehmen, auf kurze Zeit verliert.

---

1 FRÖHLICH, Ueb. einige Modificationen d. Geruchssinnes. Sitzgsber. d. Wiener Acad. math. naturw. Classe VI. S. 322. 1851.

2 E. H WEBER, Ueber den Einfluss der Erwärmung und Erkältung der Nerven auf ihr Leitungsvermögen. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1847. S. 342.

Tourtual[1] (1827) hat zuerst den ersten Theil dieses Satzes bewiesen.

Tourtual, welcher „einer mit destillirtem Wasser vermischten Salzsäure, eines mit fixer Luft geschwängerten Wassers, einer wässerigen Lösung der Vitriolnaphtha und der versüssten Salpetersäure“ sich bediente, und diese wässerigen Lösungen so hoch als möglich in die Nase einspritzte, konnte keine Geruchsempfindung erhalten; er zog auch daraus den Schluss, dass der Geruch an die Gasform gebunden ist.

Die Beobachtungen Tourtual's blieben unbeachtet, so dass J. Müller [(cit. S. 237) II. S. 267] (1835) noch schreibt, es sei unbekannt, ob die tropfbar flüssigen Körper eine Geruchsempfindung hervorrufen können. — Bidder [(cit. S. 238) S. 923] aber erwähnt, dass der Geruch durch Endosmose nicht entstehen könne, weil ein Riechstoff in gelöster Form keine solche Empfindung veranlasse.

Die wichtigsten und entscheidendsten Versuche wurden aber von E. H. Weber (cit. S. 257) (1847) vorgenommen, und er lieferte den Beweis für den ganzen oben angeführten Satz.

E. H. Weber hat folgende Methode angewendet: Der Kopf befindet sich in überhängender Stellung, so dass die Nasenlöcher nach aufwärts gerichtet sind; die Füllung der Nase geschieht durch eine zugespitzte mit Flüssigkeit gefüllte Glasröhre. — Weber bemerkte, dass bei Anwendung von Wasser zwischen 0 und 50° C. die Fähigkeit zum Riechen, auch wenn er das Wasser alsogleich auslaufen liess und sich schnaubte, in dem Grade unterdrückt wurde, dass weder Eau de Cologne noch Acid. aceticum destill. gerochen wurde. Nach $1/2$ oder nach 1 Min. stellte sich ein sehr schwacher, kaum merklicher Geruch wieder ein, der nach $1\,1/2$ M. etwas zunahm, aber erst nach $2\,1/2$ M. wieder so vollkommen geworden war, dass man das Geruchsvermögen für hergestellt erklären konnte. — Zuckerwasser hebt den Geruch ebenso auf wie reines Wasser. — So lange der Geruch noch fehlt, verursacht Eau de Cologne bisweilen eine Empfindung von Spiritus am Gaumen oder Schlunde; Ammoniak macht einen stechenden Eindruck in der Nähe der Nasenlöcher, ferner am Boden der Nase, am Schlunde und Gaumen. — Eben so wichtig ist folgender Versuch Weber's: Die Nasenhöhle wird mit einer lauwarmen Flüssigkeit, bestehend aus 1 Theil Eau de Cologne und 11 Theilen Wasser gefüllt. Der Geruch des Eau de Cologne wird zwar in dem Augenblicke wahrgenommen, wo die Flüssigkeit in die Nase einströmt, nicht aber, wenn die Nasenhöhlen damit gefüllt sind. Nach Entleerung der Nase ist der Geruch ebenso verloren wie durch reines Wasser.

Die Versuche Weber's wurden von Valentin[2] wiederholt und bestätigt, und dabei noch folgende Beobachtungen gemacht: Nach Entleerung der Nasenhöhle nehmen zuerst die Tastnerven ihre Thätigkeit wieder auf.

---

1 Tourtual, Die Sinne des Menschen in den wechselseitigen Beziehungen ihres psychischen und organischen Lebens. Münster 1827.

2 Valentin, Lehrb. der Physiol. des Menschen II. 2. Abth. Braunschweig 1848.

Vergleichende Versuche, die VALENTIN mit Essigsäure, Aether und Ammoniak machte, scheinen anzudeuten, dass diese drei Körper gewisse Verschiedenheiten darbieten; der eigenthümliche Geruch des Aethers und der Essigsäure wurde früher als der des Ammoniaks unterschieden, letzteres wirkt nur stechend. Diese Stoffe, welche die Tastnerven der Nase zugleich anregen, scheinen auch wieder früher als Stoffe, welche diese Nebenwirkung, wie z. B. Moschus, nicht haben, die regelrechten Empfindungen zu wecken.

Der letzte Forscher, welcher über diesen Gegenstand eigene Versuche anstellte ist FRÖHLICH (cit. S. 257). Das eingespritzte Wasser hatte die Temperatur von 20° C. FRÖHLICH fühlte einen Schmerz in der Gegend der Stirnhöhle und der hinteren Fläche des weichen Gaumens. VALENTIN (cit. S. 258), welcher ebenfalls einmal ein eigenthümliches schmerzhaftes Gefühl in der Gegend der rechten Stirnhöhle spürte, vermuthet, dass das Wasser bis dorthin eingedrungen sei.

Nach Entfernung des Wassers war FRÖHLICH höchstens für 1/2 M. für alle Geruchseindrücke unempfänglich, selbst für Essigsäure und Ammoniak; das Geruchsvermögen kehrte bald wieder zurück, blieb jedoch für längere Zeit etwas geschwächt. — Bei LICHTENFELS [1] währte die Geruchslosigkeit an 5 Min., die Geruchsschwäche nahezu 1/2 St. — Bei einem dritten jungen Manne nahm die Schärfe des Geruches nur wenig ab und dieser roch sehr bald Knoblauch, Assa foetida etc. ganz deutlich.

Die Beobachtungen von WEBER, VALENTIN und FRÖHLICH scheinen anzudeuten, dass nicht bei Allen die Geruchslosigkeit gleich lang anhält und wahrscheinlich sind einige noch nicht ermittelte Nebenumstände von Bedeutung. Diese Vermuthung wird von der Beobachtung FRÖHLICH's (cit. S. 257) unterstützt, dass bei Benutzung von Alkohol, der mit 10 Volumina Wasser verdünnt war, die Geruchsstörung nur in geringerem Maasse auftrat. Der Versuch ist zwar schmerzhaft, der Schmerz stört jedoch die Beobachtung nicht.

FRÖHLICH konnte nach dem Versuch auf kurze Zeit gar nicht riechen; bei LICHTENFELS war der Geruch nur geschwächt, so dass in den ersten Augenblicken Ol. lavandulae, aurantiorum, bergamo, valerianae, Assa foetida etc. nicht deutlich unterschieden wurden. Die Schärfe des Geruches kehrte bald zurück, ja beide Beobachter waren für manche der angeführten Gerüche auf einige Zeit noch empfänglicher als im normalen Zustande; Essigsäure und Ammoniak wurden in kürzester Zeit ebenfalls sehr gut gerochen.

Wir haben jetzt die Frage zu untersuchen, wie die Geruchslosigkeit und die Undeutlichkeit des Geruches nach Entfernung des Wassers aus der Nasenhöhle zu erklären sind.

WEBER (cit. S. 257) erklärte diese Erscheinungen durch Imbibi-

1 FRÖHLICH, Ueber einige Modificationen etc. cit. S. 257.

tion der Zellen mit Wasser — VALENTIN (cit. S. 258) sagt, dass die Wasserschicht, welche die Nasenschleimhaut bedeckt, die Thätigkeit der in ihr sich verbreitenden Nerven für einige Zeit aufhebt — FRÖHLICH (cit. S. 257) sucht die Erklärung in einem mechanischen Hinderniss, weil es scheine, als ob die fraglichen Erscheinungen mit der gänzlichen Entfernung des eingespritzten Wassers verschwänden und weil nachgewiesen wurde, dass die Geruchsempfindung an die directe Einwirkung der mit riechenden Partikelchen imprägnirten Luft auf die Schleimhaut gebunden ist. Die Wasserschicht soll nun nach FRÖHLICH als ein hindernder Zwischenkörper betrachtet werden; mit der Abnahme dieser Schicht wächst auch verhältnissmässig schnell die Geruchsempfindung. — Es ist aber möglich, dass beide Ursachen gleichzeitig mitwirken, nämlich dass in Folge der Einwirkung des Wassers die Riechzellen etwas anschwellen, und dass die Wasserschicht das Eindringen der Gerüche bis zu den Riechzellen verhindert. Bekanntlich bewirkt Schnupfen dieselbe Erscheinung, nämlich eine Verminderung, ja sogar eine gänzliche Aufhebung der Geruchsfähigkeit; auch diese Erscheinung lässt sich dadurch erklären, dass eine Flüssigkeitsschicht die Oberfläche der Riechschleimhaut bedeckt; anderseits wäre aber auch zu bemerken, dass bei trockener Nase, wie z. B. im ersten Stadium des Katarrhs, bei Einwirkung grosser Kälte oder grosser Hitze, sowie beim Athmen in einer staubigen Atmosphäre der Geruch ebenfalls geschwächt wird. Der verminderte Geruchssinn beim Katarrh der Nasenschleimhaut kann auch darin eine Erklärung finden, dass die Nasenschleimhaut dabei mehr oder weniger angeschwollen ist, wodurch der Zutritt der mit Gerüchen geschwängerten Luft bis zur Riechschleimhaut gehemmt ist; dass eine solche Hemmung vorkomme ist sehr wahrscheinlich, da bei der Coryza auch die Respiration durch die Nase beeinträchtigt ist.

Eine Frage, die wir an dieser Stelle nur berühren wollen, ist, ob die Fische einen Geruch besitzen.

Bei allen Fischen fand man Geruchsorgane (vergl. STANNIUS [1] und M. EDWARS [2]) und ausserdem zeigen die Endorgane des Olfactorius mit jenen der Säugethiere eine grosse Aehnlichkeit. Nach diesen anatomischen Erfahrungen wird man kaum den Fischen den Geruch absprechen wollen. Ausserdem sind Erfahrungen bekannt, aus welchen hervorgeht, dass die Fische thatsächlich riechen (vgl. M. EDWARS l. c.). Man hat wohl den Fischen deshalb den Geruchssinn abgesprochen, weil dieselben

1 v. SIEBOLD und STANNIUS, Handbuch der Zootomie. 2. Theil, die Wirbelthiere von H. STANNIUS. 2. Aufl. 1. Heft. Zootomie der Fische. Berlin 1854.

2 MILNE EDWARS, Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée XI. Paris 1876.

sich durch einen unächten Köder täuschen lassen. Brücke[1] meint aber, in solchen Fällen würden die Fische den Köder sehen und deshalb nach demselben springen.

Nach den vorher S. 258 mitgetheilten Erfahrungen von Tourtual, Weber u. a. muss aber behauptet werden, dass der Geruchssinn der Fische ganz andere Fähigkeiten besitzt als jener, der in der Luft athmenden Thiere, derselbe muss nämlich die Fähigkeit haben, von Geruchsstoffen erregt zu werden, welche in Wasser aufgelöst oder vielleicht auch einfach suspendirt sind.

1. Beschaffenheit der riechenden Stoffe und Bedingungen für die Entwicklung des Geruches.

Die Eigenschaften, welche eine Substanz besitzen muss um riechbar zu sein, sind uns vollständig unbekannt. Die Physiologen beschränken sich bloss auf die Anführung der Bedingungen, welche die Entwicklung der Gerüche begünstigen oder hemmen.

Cloquet (cit. S. 225), auf welchen wir immer zurückgreifen müssen, sobald es sich um die Geschichte der Physiologie des Geruches handelt, gibt uns die Ansichten der früheren Forscher über diesen Gegenstand an, die wir hier wohl übergehen können. — Cloquet selbst äussert sich (S. 29), dass wir im Grunde nur so viel wissen, dass viele Körper die Eigenschaft besitzen, aus ihrem Schoosse äusserst dünne Theilchen zu entlassen, dass diese Theilchen eine Art Atmosphäre, deren Dichtigkeit mit der Entfernung von dem riechenden Körper abnimmt, um letzteren bilden, und dass endlich solche Theilchen sich immer fort in die umgebende Luft verbreiten. Die Luft ist somit das Verbreitungsmittel der riechenden Stoffe. Cloquet (vgl. auch Valentin [cit. S. 258]) theilt auch eine Beobachtung von Hughens und Papin mit, derzufolge eine Rosenknospe unter einem luftleeren Glasrecipienten 14 Tage noch ihren ganzen Duft bewahrte, den sie aber, aufs Neue in die Atmosphäre gebracht, in weniger als 2 Stunden verlor. Dasselbe ergab ein Versuch mit Erdbeeren.

Die Ansicht, dass die riechenden Körper fortwährend von ihrer Substanz Partikelchen in die Luft abgeben, ist diejenige, welche von den meisten Physiologen vertreten wird (Duméril[2], Bidder [cit. S. 238], Longet [cit. S. 243], Liégeois[3]).

Es gab jedoch Forscher, welche die Behauptung vertheidigten, dass in den riechenden Körpern Schwingungen vorkommen, und dass diese Schwingungen sich einem umgebenden Aether mittheilen und so bis zu dem Riechorgane gelangen (vgl. darüber Longet [cit. S. 243], Poinsot [cit. S. 247], Carpenter[4]).

---

1 Brücke, Vorlesungen über Physiologie II. 2. Aufl. Wien 1876.

2 Duméril, Von der Natur u. physiologischen Wirkung der Gerüche. Froriep's neue Not. Nr. 532. (Nr. 4 des XXV. Bd.) S. 58. Januar 1843.

3 Liégeois, Mémoire sur les mouvements de certains corps organiques à la surface de l'eau et sur les applications qu'on peut en faire à la theorie des odeurs. Arch. de physiol. norm. et pathol. I. 1868.

4 Carpenter, Smell in Todd's Cyclopaedia of anatomy and physiology IV. Part. I. London 1847—49.

Je flüchtiger (Bidder [cit. S. 238]) ein Stoff ist, desto rascher und weiter verbreitet er sich in der Atmosphäre; Campher, Moschus u. d. m. machen sich daher schon aus beträchtlicher Entfernung bemerklich und zwar auch bei vollkommen ruhiger Luft, so dass ihre Verbreitung nicht auf anderweitig entstandener Luftströmung beruht. — Die Luftströmungen befördern jedoch wesentlich die Verbreitung der Gerüche (Longet [cit. S. 243]).

Ausserdem beobachtet man, dass, je flüchtiger ein Stoff d. h. je grösser sein Bestreben nach rascher Ausbreitung und feiner Vertheilung ist, desto schneller auch der von ihm ausströmende Geruch verschwindet: es gibt aber riechbare Stoffe, die sowohl sehr flüchtig als auch sehr andauernd riechend sind, namentlich Moschus.

Cloquet (cit. S. 225), Bidder (cit. S. 238), Valentin (cit. S. 258), Longet (cit. S. 243), Poinsot (cit. S. 247) haben eine Reihe von Umständen angeführt, unter welchen das Riechbare sich am leichtesten entwickelt. Es gibt nämlich riechende Körper, deren Substanz sich unaufhörlich ganz oder theilweise verflüchtigt, andere dagegen, die nur unter gewissen Umständen riechend werden; so z. B. gibt es Pflanzen, welche entweder blos bei Tag oder blos bei der Nacht duften, oder auch nur des Morgens. Einige Pflanzen riechen, wenn sie getrocknet werden; ein allgemein bekanntes Beispiel hiervon ist das frisch geschnittene Heu. Aromatische Kräuter besitzen im trockenen Zustande nur einen schwachen Geruch, werden sie aber angefeuchtet, so riechen sie hingegen ziemlich stark. — Bitumenhaltige Stoffe haben keinen Geruch in trockenem, einen deutlichen in feuchtem Zustande. Die Feuchtigkeit scheint somit das Ausströmen des Riechbaren zu begünstigen und dies ist um so mehr der Fall, wenn das Verdunsten durch eine mässige Temperatur unterstützt wird; Hitze vernichtet das Riechbare, und eine niedere Temperatur verhindert das Ausströmen desselben; diese untere Grenze ist bei verschiedenen Stoffen verschieden.

Bei der Reibung entstehen häufig Gerüche, so z. B. bei gewissen Steinen und bei Knochen, wenn diese durchsägt werden; Beschädigungen von riechenden Blumen bedingen dagegen ein rascheres Verschwinden des Geruches.

So werthvoll nun auch alle eben angeführten einzelnen Angaben sind, so geben sie uns jedoch gar keinen Aufschluss über das Riechbare selbst; eher lässt sich ein solcher wenigstens für die Zukunft von jenen Beobachtungen erwarten, die wir nun mittheilen werden.

Romieu[1] hat zuerst bemerkt, dass kleine Stücke von Campher auf der Oberfläche des Wassers in eine rotirende Bewegung gerathen. Dieselbe Erscheinung wurde auch von Lichtenberg[2] beobachtet. Volta und Brugnatelli[4] haben solche Bewegungen an verschiedenen anderen

1 Romieu, Mémoires de l'Académie des sciences 1756, angeführt nach Liégeois citirt S. 261.

2 Lichtenberg, Liégeois hat keine Quellenangabe gemacht.

3 Volta, Bulletin de la societé philomatique I., angeführt nach Liégeois (l. c.).

4 Brugnatelli, Bulletin de la societé philomatique I., angeführt nach Liégeois (l. c.).

Körpern beschrieben; Bénédict Prévost de Geneve[1] scheint jedoch der erste gewesen zu sein, welcher solche Bewegungen mit der Entwicklung des Riechbaren aus riechenden Körpern in Zusammenhang brachte. Nachher wurden auch von Venturi[2], Serullas[3] und Dutrochet[4] über diesen Gegenstand mehrere Angaben veröffentlicht.

B. Prévost beschrieb zwei Erscheinungen, welche bei riechenden Substanzen wahrnehmbar sind und nannte die bei diesen Versuchen angewendete Methode Odoroskopie. Er beobachtete nämlich: 1) dass riechende Substanzen auf der Oberfläche des Wassers sich bewegen, analog wie dies bereits vom Campher erwähnt wurde; 2) dass eine sehr dünne Schicht Wassers, welche auf einem wohl gereinigten Teller oder Glas sich befindet, zurückweicht sobald man eine gewisse Menge pulverisirten Camphers auf dieselbe legt.

In neuester Zeit verdanken wir Liégeois eine Reihe Beobachtungen über diesen Gegenstand. — Dieser vermehrte die odoroskopischen Beobachtungen von B. Prévost noch um zwei nämlich: 1) rasche Trennung von fein gepulverten riechenden Theilchen, die sich auf der Oberfläche von Wasser befinden; 2) Hemmung der Bewegung des Camphers und vorzugsweise der Bernsteinsäure sobald ein riechender Körper mit dem Wasser in Berührung kommt, auf welchem jene Substanzen sich bewegen.

Liégeois fand, dass die Angaben von B. Prévost ganz richtig sind, sobald es sich um riechende Körper handelte, die aus dem Pflanzen- und Thierreiche stammten. Er prüfte nicht weniger als 200 riechende Substanzen, und fand keine einzige, welche der einen oder der anderen odoroskopischen Beobachtung von Prévost nicht entsprochen hätte. — Die riechenden Körper aus dem Mineralreiche entsprechen nach Liégeois dem allgemeinen Gesetze nicht, weder Ammoniak, noch Schwefelwasserstoff, noch Phosphorwasserstoff veranlassen eine Bewegung; auf der anderen Seite gibt es einige Körper als Schwefelsäure, Kali, Natron etc., welche eine Bewegung darbieten, und endlich fand Liégeois einige Körper aus dem Thier- und Pflanzenreich, welche keinen Geruch besitzen und doch die eine oder die andere der zwei von B. Prévost angegebenen Erscheinungen

---

1 Bénédict Prévost, Divers moyens de rendre sensibles à la vue les émanations des corps odorants. Diese Abhandlung wurde im J. 1799 der Académie des sciences vorgelegt, und davon hat Fourcroy (Ann. de chim. et phys. XXXI, XXXIV et XL; Bulletin de la societé philomatique I.) einen Auszug veröffentlicht, angeführt nach Liégeois (l. c.).

2 Venturi, Liégeois hat keine Quellenangabe angeführt.

3 Serullas, Journ. de physique XCI. p. 172, angeführt nach Liégeois (l. c.).

4 Dutrochet, Académie des sciences XII. p. 2. 29. 126. 598, angeführt nach Liégeois (l. c.).

zeigten; solche Körper sind nach Liégeois die fixen Oele, das Atropin, das schwefelsaure Atropin, die Bernsteinsäure. Diese Substanzen sollen einen Geruch entwickeln, wenn man sie in den Mund nimmt.

B. Prévost (cit. S. 263) erklärte die Bewegung der riechenden Stoffe an der Oberfläche des Wassers durch die Wirkung eines elastischen Körpers, welcher von den riechenden Substanzen aus in die Luft sich verbreitet; es würde sich also um einen wirklichen Rückschlag analog dem der Feuerwaffen handeln. Liégeois dagegen nahm die Ansicht Venturi's an und meint, die Bewegung des Camphers und anderer Körper auf der Oberfläche des Wassers entstehe dadurch, dass von den feinen Unregelmässigkeiten des kleinen Campherstückes fortwährend eine ölige Flüssigkeit ausströme, die sich in einer sehr dünnen Schicht an der Oberfläche des Wassers ausbreite, das kleine Campherstück nach rückwärts treibe und so dasselbe in rotirende Bewegung versetze. Liégeois führt auch eine Reihe Beobachtungen an, um seine Erklärung zu bekräftigen; an der Stelle z. B., an welcher sich das Wasser von dem kleinen Stück Campher entfernt, soll am Teller eine dünne Schicht zurückbleiben, welche anfangs irisirend sei, später eine schmutzig-weisse Farbe besitze.

Eine ganze Reihe Substanzen, wie z. B. alle Essenzen, die Harze, die Balsame, die riechenden Pflanzen u. s. w., hemmen die Bewegungen des Camphers sobald dieselben in geringer Menge in dasselbe Wasser gebracht werden. — Samen von Angelica, von Coriander, welche mit Aether oder mit Alkohol imprägnirt waren, zeigten dieselbe Bewegung wie der Campher, und diese Bewegung ist von der Verdampfung unabhängig.

Liégeois endlich führt uns eine Reihe Beobachtungen vor, aus welchen hervorgeht, dass das Oel, welches sich in einer dünnen Schicht auf der Oberfläche des Wassers befindet, fortwährend in Form sehr kleiner Theilchen von dem verdampfenden Wasser mitgerissen wird; dasselbe wird auch beim Campher beobachtet, welcher in Form eines feinen Pulvers auf der Oberfläche des Wassers schwimmt. Aether gab dasselbe Resultat, weniger sicher waren die Beobachtungen mit Alkohol und mit Essigsäure, und ganz negativ fielen sie mit Ammoniak oder Schwefelwasserstoff aus.

Liégeois gelangt zu dem Resultat, dass von den riechenden Körpern, besonders wenn dieselben sich in Berührung mit Wasser befinden, fortwährend kleine Theilchen in die Atmosphäre sich verbreiten, welche zu unserer Riechschleimhaut gelangen und so die Geruchsorgane erregen.

Höchst interessante Beobachtungen hat TYNDALL[1] über die Absorption gemacht, welche der Duft einiger riechender Substanzen auf die strahlende Wärme ausübt.

Wir müssen es unterlassen, auf eine nähere Schilderung der Untersuchungsmethoden einzugehen und uns mit der Bemerkung begnügen, dass ein kleiner mit dem ätherischen Oel der zu untersuchenden Substanz befeuchteter Papiercylinder in ein Glasrohr eingeführt und der Duft der Papierrolle mittels trockener atmosphärischer Luft in die vorher luftleer gemachte Versuchsröhre geleitet wurde.

Die Wärmeabsorption einer Atmosphäre trockener Luft wurde als Einheit angenommen, so dass jede hinzukommende Absorption, welche die Versuche zeigten, auf Rechnung der in der Luft enthaltenen Wohlgerüche kam.

Wir lassen nun die kleine von TYNDALL mitgetheilte Tabelle folgen:

Namen	Absorption	Namen	Absorption
Patchouli	30	Citronenöl	65
Sandelholz	32	Orangenöl	67
Geranium	33	Thymian	68
Nelkenöl	33,5	Rosmarin	74
Rosenöl	36,5	Lorbeeröl	80
Bergamott	44	Kamillen	87
Neroli	47	Cassiaöl	109
Lavendel	60	Spike	355
		Anis	372

TYNDALL stellte noch einige Versuche mit aromatischen Kräutern an, die nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise trocken, d. h. nicht grün sondern verwelkt waren; ausserdem liess er durch die Röhre, in welcher dieselben sich befanden, vor dem Versuche einige Minuten lang trockene Luft durchstreichen. Die von ihm erhaltenen Resultate sind:

Thymian zeigte eine	33 mal	grössere Wirkung als die über ihn geleitete Luft,
Pfeffermünze wirkte	34 mal	so stark als die Luft,
Frauenmünze wirkte	38 mal	so stark als die Luft,
Lavendel wirkte	32 mal	so stark als die Luft,
Wermuth wirkte	41 mal	so stark als die Luft,
Zimmet wirkte	53 mal	so stark als die Luft.

TYNDALL fügt hinzu, dass diese Resultate durch die Einwirkung

---

1 J. TYNDALL, Die Wärme betrachtet als eine Art der Bewegung. Autorisirte deutsche Ausgabe, herausgegeben durch H. HELMHOLTZ und G. WIEDEMANN nach der fünften Auflage des Originals. 3. Aufl. Braunschweig 1875.

der Wasserdämpfe complicirt worden sein können; die Menge der letzteren muss indess unmerklich gewesen sein.

Die Beobachtungen von B. PRÉVOST, erweitert durch jene von LIÉGEOIS und die Erfahrungen TYNDALL's, müssen als die ersten Anfänge einer physikalischen Untersuchung über die Düfte und der Art ihrer Entwicklung betrachtet werden.

Es genügt zu erwähnen, dass zuerst STARK[1] und nachher DUMÉRIL[2] Beobachtungen veröffentlicht haben, um zu zeigen, dass derselbe Stoff je nach der Farbe, mehr oder weniger die Gerüche aufnimmt.

2. *Eintheilung der Gerüche.*

Vor Allem ist es nothwendig zu bemerken, dass sehr häufig Geruchs- und Gefühlsempfindungen gleichzeitig erregt werden, und dass der Sprachgebrauch diese beiden gleichzeitig auftretenden Empfindungen sehr selten auseinanderhält. Nur wenn man eigens hierauf achtgibt oder gewisse Vorsichten anwendet, ist es möglich, beide Empfindungen zu trennen. Es kann dies dadurch geschehen, dass man Substanzen, welche beide Wirkungen hervorzurufen im Stande sind, z. B. Ammoniak, Essigsäure etc. bei angehaltenem Athem in die Nähe der Nase bringt; ihre Dämpfe reizen dann die Nasenschleimhaut und rufen die vom Trigeminus abhängigen Reflexe (Thränenlaufen, Niesen etc.) hervor, ohne dass die Substanzen gerochen werden. Solche mit dem Geruche sich combinirende Gefühlsempfindungen werden auch als ätzender, stechender, scharfer Geruch etc. bezeichnet.

Bei Einführung von Substanzen in die Mundhöhle kommt es, wie schon bei Besprechung des Geschmackssinnes angeführt wurde, sehr häufig vor, dass eine Geruchsempfindung dem Geschmacke zugeschrieben wird, dagegen kommt es entweder gar nicht oder nur höchst selten vor, dass eine Geschmacksempfindung für einen Geruch gehalten wird. Von der faulig-süsslichen Empfindung die man hat, wenn man Schwefelwasserstoff einschnüffelt, ist, nach STICH[3], wahrscheinlich nur das Faulige Geruch, das Süssliche aber Geschmack. Wir finden jedoch, dass im gewöhnlichen Leben einige Gerüche mit

---

1 J. STARK zu Edinburg, Historischer Bericht und Experimente in Betreff des Einflusses der Farbe auf Wärme, Niederschlagung von Thau und Gerüchen. Froriep's neue Not. Nr. 899 (Nr. 19 des XLI Bd.) August 1834. Aus The Edinburgh new philosophical Journal. April-Juli 1834.

2 A. DUMERIL, Des odeurs, thése Fac. des sciences de Paris 1843; angeführt nach MILNE EDWARS, Leçons etc. cit. p. 260.

3 A. STICH, Ueber die Schmeckbarkeit der Gase. Annal. des Charité-Krankenhauses etc. 8. Jahrg. 1. Heft. Berlin 1857.

Bezeichnungen belegt werden, welche von den Geschmacksempfindungen entlehnt sind, wie z. B. süsser, sauerer Geruch u. d. m.

Es ist aber nöthig noch eine andere Bemerkung einzufügen; es gibt nämlich Substanzen, welche je nach der Menge, in welcher dieselben auf die Nerven einwirken, verschiedene Geruchsempfindungen bedingen sollen (Ludwig[1]); es scheinen jedoch bloss jene Substanzen zu sein, welche gleichzeitig die Geruchs- und die Gefühlsnerven erregen können; so soll die Buttersäure [Fick (cit. S. 244)] in verdünntem Zustand den widerlichen Geruch nach ranziger Butter hervorrufen, concentrirt dagegen eine stechend säuerliche Empfindung erzeugen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass viele Körper, welche für den Menschen keinen Geruch besitzen für die Thiere dagegen riechend sind.

Die Eintheilung der Gerüche in angenehme und unangenehme oder jene in Wohlgeruch und Gestank ist eine bloss subjective. Die erstere Eintheilung ist eine noch schwierigere als die zweite, da bei der Beurtheilung, ob ein Geruch angenehm oder unangenehm ist, nicht bloss sehr viele individuelle Unterschiede zu finden sind, sondern auch merkwürdige Unterschiede bei einem und demselben Individuum auftreten, je nach dem Zustande, in welchem sich dasselbe befindet. Die Liebhaberei für die einzelnen Gerüche spielt auch eine nicht zu unterschätzende Rolle; hysterische Personen lieben den Geruch von verbrannten Federn [Wagner (cit. S. 238), J. Müller (cit. S. 237)] aber auch bei nicht hysterischen Personen können Unterschiede vorkommen (J. Müller l. c.). Für manche ist der Geruch von Reseda nicht sehr sublim und mehr krautartig, wie Blumenbach anführt; J. Müller selbst befand sich in diesem Falle. Einige lieben die Assa foetida, andere den Bibergeil, andere die Valeriana, sehr viele den Geruch von altem Käse, den haut goût des Wildbrets [Valentin (cit. S. 258) Hyrtl[2]].

Cloquet [(cit. S. 225) S. 44 u. 45] führt eine ganze Reihe von Beispielen an, um zu zeigen, wie die einzelnen Individuen in dieser Richtung höchst verschieden sein können; wir finden in diesem Werke (S. 74 u. fl.) auch eine ganze Reihe von Angaben über Neigungen und Abneigungen für die verschiedenen Gerüche.

Wir müssen ferner bemerken (vergl. Cloquet (l. c.), Zenneck[3]),

1 Ludwig, Lehrb. der Physiologie des Menschen I. 2. Aufl. Leipzig u. Heidelberg 1858.
2 Hyrtl, Handbuch der topographischen Anatomie. 5. Aufl. Wien 1865.
3 Zenneck, Von ähnlichen Gerüchen. Buchner's Repertorium f. d. Pharmacie XXXIX. S. 215. Nürnberg 1831.

dass wir nicht einmal Namen für die verschiedenen Gerüche besitzen, so dass wir genöthigt sind, dieselben nach irgend einem Körper zu bezeichnen, dem sie eigenthümlich sind und dessen wir uns bei der Empfindung des gleichen oder ähnlichen Geruchscharakters erinnern.

Endlich sei noch angeführt, dass sehr wahrscheinlich manche Gerüche unter sich in einem Gegensatze stehen, und dass auch hier Consonanzen und Dissonanzen vorkommen, im Einzelnen ist jedoch darüber nichts bekannt. [Vergl. J. MÜLLER (cit. S. 237) und BIDDER (cit. S. 238)].

Aus dem Gesagten geht hervor, dass eine Eintheilung der Gerüche kaum möglich ist, deshalb finden wir auch, dass alle neueren Physiologen sich wohl gehütet haben, eine solche zu geben, und wir begnügen uns ebenfalls mit der Angabe, dass LINNÉ (1759), HALLER (1769), LORRY (1785), FOURCROY (1798) Classificationen der Gerüche angeführt haben, die aber sehr mangelhaft sind. [Um nähere Details vergl. CLOQUET Osphresiologie (cit. S. 225) und LONGET Traité etc. (cit. S. 243)].

ZENNECK (cit. S. 267) hat ein alphabetisches Verzeichniss von Gerüchen angegeben, die sich bei verschiedenen Körpern mehr oder weniger ähnlich zeigen.

Dagegen müssen wir aber einen Forscher, nämlich FRÖHLICH (cit. S. 257) näher anführen, welcher ebenfalls eine Gruppirung der Gerüche versuchte. — Die Charaktere der zwei Hauptclassen, die er aufstellte, können von Seite der Physiologen kaum angefochten werden, da FRÖHLICH's Eintheilung auf der Thatsache beruht, dass der Olfactorius der Geruchsnerv, der Trigeminus bloss der Gefühlsnerv der Nase ist.

Die erste Hauptclasse begreift jene Riechstoffe, welche reine Geruchseindrücke bewirken: hierher gehören die meisten ätherischen Oele, Harze, Balsame etc. Man könnte dieselben auch nach FRÖHLICH duftende Gerüche nennen. Sie rufen keine Reflexbewegungen hervor.

Die zweite Hauptclasse umfasst die scharfen Riechstoffe d. h. diejenigen, welche vermöge ihrer chemischen Eigenschaften neben der Geruchsempfindung noch eine grössere oder geringere Irritation der Schleimhaut der Nase hervorrufen, wie z. B. Chlor, Jod, Brom, Salpetersäure, Essigsäure, Benzoesäure, Ammoniak, Senföl, Meerrettig u. s. w. Diese sind im Stande Reflexbewegungen hervorzurufen.

Endlich erwähnt FRÖHLICH noch eine Gruppe von Substanzen, welche in Gasform sich befinden, dennoch aber keine eigentlichen

Geruchsempfindungen, sondern nur Gefühlseindrücke bewirken. Als Repräsentant dieser Gruppe ist die Kohlensäure zu betrachten.

Fröhlich versuchte auch eine Anzahl Gerüche, die der ersten Classe angehören, noch weiter zu gruppiren. Er ordnete dieselben ihrer Aehnlichkeit entsprechend in Reihen an, so dass die nebeneinanderstehenden Glieder nur mit einiger Aufmerksamkeit unterschieden werden konnten, während die entfernteren Glieder und namentlich die Endglieder ziemlich differente, auch dem Ungeübten auffallende Eindrücke hervorriefen.

Wir glauben aber, dass diese Einreihung nur dann einen allgemeinen Werth haben kann, wenn die angeführten Gerüche bei verschiedenen Individuen geprüft worden wären, und ausserdem begreifen die Reihen nicht alle Gerüche, die wir kennen. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass Fröhlich ausdrücklich sagt, er habe diese Anordnung der Gerüche nur deshalb getroffen um für die Schärfe und die Deutlichkeit des Riechens, während den weiter unten (S. 276) anzuführenden Intoxicationsversuchen, einen wenn auch sehr mangelhaften Maassstab zu erhalten.

Die einzelnen Riechstoffe wurden mit einer hinreichenden Menge Amylum verrieben, damit sie sämmtlich, soweit sich diess beurtheilen liess, von ziemlich gleicher Intensität waren. Dieselben wurden in kleinen wohl verschlossenen Probefläschchen aufbewahrt.

Wir geben diese Reihen, wie sie von Fröhlich aufgestellt wurden.

Erste Reihe:

1. Oleum aeth. terebinthinae,	4. Oleum aeth. Cumini,
2. „ „ Juniperi,	5. „ „ Carvi.
3. „ „ Cayeputi,	

Zweite Reihe:

1. Gummi Ladanum,	4. Balsamum peruvianum,
2. Styrax,	5. Resina Benzoe,
3. Resina Quajacis,	6. Vanille.

Dritte Reihe:

1. Oleum Rosmarini,	3. Oleum Orygani,
2. „ Lavandulae,	4. „ Thymi.

Vierte Reihe:

1. Oleum Aurantiorum,	2. Oleum de Bergamo.

Fünfte Reihe:

1. Herba Patchouli,	2. Valeriana celtica.

Sechste Reihe:

1. Knoblauch, 2. Assa foetida, 3. Schwefelkohlenstoff.

In keine der angeführten Reihen, ebenso wenig unter sich selbst zu ordnen waren:

1. Oleum Caryophillorum,	3. Iris florentina,
2. „ Cinnamomi,	4. Moschus.

Die sechste Reihe umfasst die Uebergangsglieder der ersten zur zweiten Hauptclasse.

Bei Anstellung solcher Versuche sind einige Vorsichten nothwendig. — Es dürfen nicht alle Reihen nach einander geprüft werden, da sonst Ermüdung eintritt und das Urtheil ungemein geschwächt wird. — Es muss eine gewisse Reihenfolge eingehalten werden; es finden sich nämlich unter den angeführten einige Riechstoffe, welche vermöge ihres intensiven Geruches die darauffolgenden übertäuben; d. h. sie bringen einen so heftigen Geruchseindruck hervor, dass das Geruchsorgan auf längere oder kürzere Dauer zur Perception anderer Gerüche untauglich wird. Wenn z. B. Valeriana celtica gerochen wurde, so konnte darauf der so nahestehende Geruch von Patschouli nicht wahrgenommen werden, wohl aber erregte Valeriana nach Patschouli noch einen sehr lebhaften Eindruck. Am meisten und längsten übertäuben Ol. caryophillorum und cinnamomi, weniger Valeriana, am wenigsten Iris. Diese Beobachtung gilt aber bloss für jene Individuen, deren Geruchsorgane an stärkere Eindrücke nicht gewohnt sind, während auffallender Weise Individuen, welche, wie die Apotheker und Parfumeurs in einem, möchte man sagen Chaos von Riechstoffen sich aufhalten, dennoch für geringe Geruchsdifferenzen sehr empfänglich sind.

DRITTES CAPITEL.

Die Geruchswahrnehmung.

I. Feinheit des Geruchssinnes.

Ueber die Feinheit des Geruchssinnes bei Menschen und Thieren ist eine grosse Anzahl von Beobachtungen veröffentlicht worden, wir müssen uns jedoch über diesen Gegenstand eine grosse Reserve auferlegen, theils um gewisse Grenzen nicht zu überschreiten, theils weil es sich dabei oft um specielle Beobachtungen handelt, aus welchen bis jetzt keine allgemeinen Gesichtspunkte gewonnen werden konnten.

Unter Geruchsfeinheit versteht man das Vermögen kleine Geruchsunterschiede wahrzunehmen, während man dagegen als Geruchsschärfe die Fähigkeit bezeichnet, eine sehr geringe Menge eines Riechstoffes wahrzunehmen. Die beiden Ausdrücke werden je-

doch sehr oft mit einander verwechselt, da auch meistens die Schärfe mit der Feinheit zusammenfällt.

Es darf nicht übersehen werden, dass die Geruchswelt bei den verschiedenen Thieren eine sehr verschiedene ist [J. MÜLLER (cit. S. 237) I. S. 759 und II. S. 488]. Die Welt der Gerüche eines Pflanzenfressers ist gewiss eine ganz andere als jene eines Fleischfressers, und jene des Menschen ist gewiss eine andere als jene der Thiere; beim Menschen scheint dieselbe jedoch mehr gleichförmig ausgebildet zu sein.

CLOQUET [(cit. S. 225) S. 8 u. fl. und S. 74 u. fl.] führt eine ganze Reihe von Angaben an, theils um die Geruchsfeinheit und Geruchsschärfe bei Thieren zu beweisen, theils um zu zeigen, wie die Gerüche den Thieren bald angenehm bald unangenehm sein können.

Die Mittheilungen, dass auch der Mensch bezüglich seiner Geruchsschärfe und Geruchsfeinheit den Thieren nicht immer nachsteht, sind ebenfalls nicht spärlich [VALENTIN (cit. S. 244) S. 289, WAGNER (cit. S. 238) S. 348, HYRTL (cit. S. 267) I. S. 309]. Nur wäre zu bemerken, wie BIDDER (cit. S. 238) richtig anführt, dass bei den Nordamerikanischen Wilden der Geruchssinn durch die Uebung gesteigert wird.

DÖNHOFF [1] hat einige Beobachtungen an Bienen und Hunden bekannt gemacht, welche deren Geruchsfeinheit beweisen.

Es kann von Interesse sein zu erinnern, dass jede Thiergattung, ja sogar jedes Individuum einen eigenen Geruch ausströmt (CLOQUET [cit. S. 226] S. 40 und 42 und DÖNHOFF [l. c.]). GUSTAV JÄGER [2] hat neuerdings die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf den specifischen Geschmack und Geruch der Thiere hingelenkt und möchte nun diese Beobachtungen zu phylogenetischen und ontogenetischen Untersuchungen benutzt wissen.

Nach den Beobachtungen von LANDRÉ-BEAUVAIS (CLOQUET [cit. S. 225] S. 40) scheint es, dass bei Menschen dieser eigene Geruch von dem Himmelsstrich, von den Nahrungsmitteln, von der Beschäftigung u. s. w. abhängig sei.

Durch die Uebung lässt sich die Feinheit des Geruchssinnes weiter entwickeln, und es wird angeführt [BIDDER (cit. S. 238), DUGÉS (cit. S. 237), VALENTIN (cit. S. 244)], dass Apotheker Geruchsunterschiede wahrnehmen können, welche Anderen ganz entgehen. Aerzte und Krankenwärter sollen für Ausdünstungen bei den verschiedenen Ausschlägen besonders empfindlich werden.

1 DÖNHOFF, Beiträge zur Physiologie. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1874. S. 753.

2 G. JÄGER, Ueber die Bedeutung des Geschmacks- und Geruchsstoffes. Ztschr. f. wissensch. Zool. XXVII. Leipzig 1876.

MILNE EDWARS[1] (S. 457) bemerkt mit Recht, dass, wenn die Aufmerksamkeit des Menschen vorzugsweise oder ausschliesslich (Beobachtung von WARDROPP[2]) auf den Geruchssinn concentrirt ist, dieser dann eine sehr grosse Feinheit erreichen kann.

Es wäre endlich zu erwähnen [BIDDER (cit. S. 238), VALENTIN (cit. S. 244)], dass kleine Kinder wahrscheinlich schwächer riechen als Erwachsene, sie verhalten sich wenigstens passiver gegen die verschiedenartigsten Ausdünstungen.

In wie weit es zulässig ist, das Pigment der Riechschleimhaut mit dem Geruche in Beziehung zu bringen, wie OGLE[3] auf Grund verschiedener Erfahrungen dies versucht hat, müssen künftige Forschungen entscheiden.

II. Die Reactionszeit einer Geruchsempfindung.

Wir besitzen darüber gar keine Erfahrungen. BIDDER [(cit. S. 238) S. 925] schrieb zu einer Zeit, in welcher noch keine Versuche über die Reactionszeit einer Empfindung angestellt waren, Folgendes: Die Zeit, die zu einer deutlichen Wahrnehmung irgend eines Riechbaren erforderlich ist, ist viel länger als die zum vollständigen Erfassen eines Gesichts- oder Gehörseindruckes, während hier schon $^1/_9$ Sec. hinreichen kann, wird man dort unter einigen Secunden schwerlich ins Reine kommen.

Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass, wenn es einmal gelingen sollte, Methoden ausfindig zu machen, welche gestatten, die Reactionszeit einer Geruchsempfindung genau zu ermitteln, man finden wird, dass auch diese Zeit nur Bruchtheile einer Secunde beträgt.

III. Die specifische Energie der Geruchsfasern.

Nur als allgemeine Hypothese in Folge der Analogie mit den übrigen Sinnesorganen dürfen wir auch hier die specifische Energie der einzelnen Geruchsfasern annehmen. HERMANN[4] (S. 415) hat diese Ansicht ausgesprochen und BRÜCKE (cit. S. 261) nimmt ebenfalls als wahrscheinlich an, dass die verschiedenen Gerüche darauf beruhen, dass verschiedene Nervenfasern stärker erregt werden; letztere sollen wieder mit verschiedenen Centralgebilden in Verbindung stehen, deren Erregung in uns verschiedene Geruchsempfindungen hervorruft.

---

1 H. MILNE EDWARS, Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux XI. Paris 1876.

2 WARDROPP theilt nämlich mit, dass JAMES MITCHELL, welcher von seiner Geburt an blind, taub und stumm war, die einzelnen Personen dadurch erkannte, dass er dieselben beschnüffelte.

3 W. OGLE, Anosmia. Cases illustrating the physiology and pathology of the sens of smell. Medico-chirurgical transactions LIII. p. 263, angeführt nach Henle u. Meissner's Jahresber. 1870. S. 314.

4 HERMANN, Grundriss der Physiologie des Menschen. 4. Aufl. Berlin 1872.

Es fehlt uns aber jeder Anhaltspunkt, um zu bestimmen, wie viele Arten von Geruchsfasern anzunehmen seien, und wir werden wahrscheinlich erst dann über diese allgemeine Andeutung weiter gehen können, wenn es einmal gelingen wird, die einzelnen Gerüche auf irgend eine Weise ihrer Analogie nach zu classificiren, wenn z. B. eine grosse Reihe von Individuen bezüglich ihres Vermögens, die einzelnen Gerüche zu unterscheiden, untersucht sein wird.

IV. Intensität einer Geruchsempfindung.

Die Intensität einer Geruchsempfindung hängt von einer Reihe von Bedingungen ab, die wir nun besprechen werden.

1. Menge des wirksamen Körpers.

Wir müssen vor Allem bemerken, dass es geradezu unmöglich ist, die Menge des riechenden Stoffes zu bestimmen, welche gleichzeitig auf die Geruchsnerven einwirkt. Man muss sich deshalb mit einer annähernden Bestimmung begnügen, indem man jene Menge der riechenden Substanz bestimmt, welche in einem gegebenen bei einer Einathmung durch die Nase streichenden Luftvolumen enthalten ist. [Ludwig (cit. S. 267), Fick (cit. S. 244)].

Die einzigen Bestimmungen, die wir über diesen Punkt besitzen, rühren von Valentin (cit. S. 244) her, welcher seine Versuche mit Clemens vornahm.

Wir verzichten auf die Angabe der von Valentin angewendeten Methoden, um jene kleine Quantität des riechenden Stoffes zu bestimmen, welche in einem bestimmten Luftvolumen enthalten war, und beschränken uns blos auf die Mittheilung der von ihm erhaltenen Resultate. Wir können um so eher von der Beschreibung der Methoden absehen, als ohnehin die Zahlen keinen absoluten Werth haben und blos dazu dienen, um zu zeigen, wie klein die Quantität eines riechenden Stoffes sein kann, die noch eine Geruchsempfindung hervorruft.

1. Brom. Ein Luftraum, der im günstigsten Falle $^1/_{200000}$ Bromdampf einschloss, roch noch sehr stark nach Brom und zwar im ersten Augenblicke auffallend unangenehm. Da 1 Ccm. Luft hier höchstens $^1/_{30000}$ eines Milligramm Brom führte und wir annehmen können, dass 50 Ccm. Luft die Nase passirt haben, bis der Eindruck aufgefasst wurde, so ergibt sich, dass höchstens $^1/_{600}$ Mgrm. Brom, wahrscheinlich aber noch weniger hinreicht, den eigenthümlichen Geruch dieses Körpers auf das Deutlichste zum Bewusstsein zu bringen.

2. Phosphorwasserstoff. Enthält die Atmosphäre $^1/_{55000}$ dieses Gases, so zeigte sich ein sehr starker Knoblauchgeruch im ersten Augenblicke und ein schwächerer in der Folge. Berechnet man wiederum das Verhältniss für 50 Ccm. Luft, so ergibt sich, dass $^1/_{50}$ Mgrm. mehr als

hinreichend ist, um den Knoblauchgeruch des Phosphorwasserstoffes mit grosser Stärke hervorzurufen.

3. Schwefelwasserstoff. Eine Luftmasse, die weniger als 1/170000 ihres Umfanges an Schwefelwasserstoff führte, liess im Anfange noch einen schwachen Geruch von diesem Gase erkennen. VALENTIN berechnete, dass weniger als 1/5000 Mgrm. Schwefelwasserstoff hinreicht, um einen schwachen Geruch nach faulen Eiern zu veranlassen.

4. Ammoniak Es steht den übrigen von VALENTIN geprüften Riechkörpern bedeutend nach. Wenn die Atmosphäre 1/33000 Ammoniakdämpfe enthielt, konnte es VALENTIN nicht mehr riechen. Ein mit Salzsäure befeuchteter Glasstab erzeugte aber hier noch sehr deutlich weisse Nebel.

5. Moschus. Es wurde ein Auszug mit absolutem Alkohol benutzt. der Alkohol hatte weniger als 1 Mgrm. aufgelöst und dabei wohl einen grossen Theil, nicht aber allen Riechstoff des Moschus und wahrscheinlich auch noch andere Bestandtheile desselben aufgenommen. VALENTIN nimmt an, dass die Wahrnehmbarkeit dann ungefähr ihre Grenze erreiche, wenn im Ganzen weniger als 1/2000000 Mgrm. jenes Weingeistauszuges dargeboten wurde.

6. Rosenöl. Eine Luftmasse, welche für jeden Ccm. nur 1/2000000 Mgrm. enthielt, hatte noch einen schwachen Rosengeruch für kurze Zeit gezeigt. Daraus berechnet VALENTIN, dass 1/20000 Mgrm. hinreicht, um eine deutliche Empfindung zu haben. Bedenkt man, dass auch das feinste Rosenöl zu einem sehr grossen Theil aus einem geruchlosen fetten Oele besteht, so ergibt sich, dass wahrscheinlich der eigentliche Riechstoff des flüchtigen Antheils noch viel weniger betragen muss.

7. Pfeffermünzöl. 1/170000 Mgrm. des Oeles auf je 1 Ccm. Luft erregt einen schwachen aber nicht zu verkennenden Pfeffermünzegeruch. Daraus berechnete VALENTIN, dass weniger als 1/1700 Mgrm. genügt, um die eigenthümliche Geruchsempfindung des Oeles hervorzurufen.

8. Wurmkrautöl. Ein Luftraum, der 1/14000 Mgrm. des Wurmkrautöls auf den Ccm. enthielt, verbreitete den bekannten unangenehmen Geruch dieses Oels in durchdringender Weise.

9. Nelkenöl. Wurden 5 Mgrm. Nelkenöl in einen Ballon von 55,66 Liter eingetropft, so dass ungefähr 1/10000 Mgrm. einem Ccm. der Luft entsprachen, so roch der Ballon durch mehr als 3 Monate nach Gewürznelken und zwar keineswegs in unbedeutendem Grade.

Wenn wir auch, wie oben erwähnt, den von VALENTIN angeführten Zahlen keine absolute Giltigkeit zuschreiben können, so sind dieselben doch genügend, um zu beweisen, dass die verschiedenen riechbaren Stoffe unter gleichen mechanischen Bedingungen den Geruchssinn in sehr verschiedenem Grade erregen; die Riechstoffe lassen sich nämlich ihrer verschiedenen Wirksamkeit entsprechend in einer Scala anordnen, deren unterste Stufe Phosphorwasserstoff und Ammoniak bilden, die oberste dagegen von Moschus repräsentirt wird.

Ausserdem zeigen die Versuche VALENTIN's, dass eine grosse Feinheit der Geruchsreaction besteht.

Nach VALENTIN's Meinung soll auch für die Gerüche das Gesetz gelten, dass von verhältnissmässig concentrirteren Riechstoffen geringere Mengen nöthig sind, um eine Empfindung anzuregen, als von verdünnteren Mischungen. Es würde sich also in dieser Beziehung bei den Gerüchen ein ähnliches Verhalten zeigen, wie bei den Geschmäcken. (Vergl. Geschmackssinn S. 211).

Es wäre endlich zu erwähnen, dass die Geruchsintensität bei demselben riechbaren Stoffe von der Menge abhängt, in welcher er dem Geruchsnerven dargeboten wird. Je mehr eines Riechstoffes in der Volumseinheit Luft, welche der Geruchsschleimhaut zugeführt wird, enthalten ist, desto stärker werden wir den Stoff riechen. Es scheint aber, dass, wenn die Menge der riechenden Substanz sehr gross ist, dann die Beschaffenheit der Empfindung sich ändere. VALENTIN (l. c.) gibt nämlich an, dass ein Moschusbeutel einen qualitativ anderen Eindruck errege als der Moschus, der in der Atmosphäre sich verbreitet, und dass die Annehmlichkeit der Gerüche erst mit einer gewissen Verdünnung der Riechstoffe aufzutreten pflege; grössere Massen von Nelkenöl riechen unangenehm, kleine dagegen angenehm.

Es wird auch angegeben, dass Personen mit weiten Nasenlöchern und mit langer vorstehender Nase in der Regel besser riechen, als Personen mit enger und kleiner Nase, weil bei den ersten eine grössere Quantität Luft in die Nase eingezogen werden kann; Thiere mit geräumigen Nasenhöhlen und ausgebildeten Muscheln sollen einen schärferen Geruch besitzen, wahrscheinlich weil die Luft mehr vertheilt wird und dadurch eine grössere Quantität der riechenden Theilchen mit der Membrana olfactoria in Berührung kommt. — Wir haben diese Angaben blos der Vollständigkeit wegen angeführt, ohne denselben jedoch vor der Hand viel Werth beizulegen (vgl. oben S. 250 u. folg.).

2. *Grösse der erregten Fläche.*

Es scheint, dass die Intensität der Geruchsempfindung von der Zahl der gleichzeitig erregten Nervenelemente abhänge, oder mit anderen Worten von der grösseren oder kleineren Oberfläche, auf welche die Riechstoffe einwirken. Wir besitzen aber darüber keine directen Versuche und es lässt sich nur sagen, dass wir mit beiden Nasenlöchern meistens besser als mit einem riechen, obgleich auch in letzterem Falle der Geruch kaum wesentlich geschwächt erscheint, und die Beurtheilung der specifischen Verschiedenheit des Geroche-

nen ungetrübt bleibt. Wichtiger ist die Beobachtung, dass beim Ausathmen die Gerüche weniger deutlich wahrgenommen werden, weil wie oben S. 246 auseinandergesetzt wurde, von der ausgeathmeten Luft nur eine sehr beschränkte Partie der Riechschleimhaut bestrichen wird.

3. Erregbarkeitszustand der Nerven.

Den Beweis für die Behauptung, dass die Geruchsintensität von dem Erregbarkeitszustand der Nerven abhänge, liefern die Verstimmung des Geruchssinnes bei Nervenkrankheiten, vorzugsweise aber die Beobachtungen von FRÖHLICH über die Veränderungen der Geruchswahrnehmungen bei allgemeiner Vergiftung und speciell bei der örtlichen Vergiftung des Olfactorius.

A. Vergiftung des Olfactorius.

Die Veränderungen, welche der Geruchssinn in Folge der Wirkung einiger Gifte erleidet, sind von FRÖHLICH (cit. S. 257) untersucht worden.

Die Beobachtungen FRÖHLICH's scheinen aber ganz in Vergessenheit gerathen zu sein, da auch HERMANN an keiner Stelle seines Lehrbuches der experimentellen Toxikologie, Berlin 1874, davon Erwähnung thut.

FRÖHLICH untersuchte die Veränderungen des Geruchssinnes sowohl nach örtlicher Einwirkung von Giften auf die Nasenschleimhaut, wie auch nach einer allgemeinen Vergiftung.

Die örtliche Vergiftung des Olfactorius wurde von FRÖHLICH durch Morphium und durch Strychnin versucht.

1. Morphium. 5 Cgrm. Acet. morphii wurden mit Zucker verrieben und geschnupft, wobei man verhinderte, dass der Schleim abfloss. Der Geruch erlitt nur eine geringe Schwächung; für kurze Zeit wurde zwar Ammoniak sehr wenig empfunden, die meisten reinen Gerüche wurden aber gut unterschieden, obgleich die Zeit, welche verging, bis das Urtheil gefällt werden konnte, eine längere war; nur Ol. thymi und orygani wurden nicht erkannt und letzteres für Ol. menthae piperitae gehalten. Nach 12 Stunden war auch nicht eine Spur von einer Intoxication des Sinnesnerven zu bemerken.

Interessant ist die Angabe FRÖHLICH's, dass er 2 Stunden nach dem Versuche eine sehr schwache subjective Empfindung ähnlich dem Geruche von frisch gesottenem Leime hatte.

2. Strychnin. 1 Cgrm. Strychnin mit 1 Grm. Zucker verrieben wurde geschnupft und 20 Min. lang in der Nase behalten; es trat eine profuse Schleimsecretion ein. Sowohl FRÖHLICH als LICHTENFELS, welcher sich demselben Versuche unterzog, bemerkten innerhalb der ersten Viertelstunde

„eine auffallende Verschärfung des Geruches (siehe auch unten S. 278 u. fl.). 50 Min. später wurden aber Riechstoffe noch erkannt, welche in so bedeutender Verdünnung vorhanden waren, dass dieselben nie im normalen Zustande gerochen wurden. Die Nasenschleimhaut wurde viel empfindlicher, Ammoniakdämpfe wurden sehr schmerzhaft empfunden.“ Sowohl die Thätigkeit des Trigeminus als jene des Olfactorius war gesteigert. Durch 8 Tage dauerte ein äusserst profuser Katarrh. Das Geruchsvermögen war während dieser ganzen Zeit unglaublich geschärft.

Für die allgemeine Vergiftung wurden das Tabakrauchen, Alkohol, Chloroform, Atropin, Daturin, Morphin und Strychnin angewendet. Die Beobachtungen wurden sowohl an Fröhlich als auch an Lichtenfels angestellt.

1. Das Tabakrauchen erzeugte gar keine Wirkung auf den Olfactorius.

2. Alkohol. Es wurden 200 Grm. einer Flüssigkeit getrunken, welche 40 Grm. absoluten Alkohol enthielt. Nach 10 Min. war die Wirkung des Alkohols fühlbar; die reinen Geruchseindrücke wurden sehr gut, scheinbar sogar besser als im normalen Zustande aufgefasst, während für die scharfen Geruchseindrücke das Gefühl abgestumpft war. Nach 50 Min. war das Geruchsorgan auch für die reinen Geruchseindrücke weniger empfänglich, das Urtheil ungemein verlangsamt und die sich berührenden Glieder der von Riechstoffen gebildeten Reihen (siehe oben S. 269) wurden nur schwierig unterschieden. Die Ammoniakdämpfe wurden kaum bemerkt, obwohl häufiges Niesen eintrat.

3. Chloroform. Nach Fröhlich wird der Olfactorius durch die Narkose nur sehr wenig und auf kurze Zeit afficirt, während Gerdy[1 2] die Meinung äusserte, dass durch die Narkose mit Aether der Geruch gar nicht beeinträchtigt werde. Gleich nach dem Erwachen aus der Chloroformnarkose hat man beobachtet, dass eine grössere oder kleinere Unempfindlichkeit für alle Geruchseindrücke vorhanden war; das Unterscheidungsvermögen der Gerüche war jedoch aufgehoben, so dass Guajak nicht erkannt und Origanum für Mentha erklärt wurde. Kurze Zeit darauf aber war die Empfindlichkeit für alle reinen Gerüche ungemein gross, so dass die Beobachter meinten besser zu riechen als im normalen Zustande. Essigsäure und Ammoniak wurden durch lange Zeit nur sehr schwach empfunden.

Um das Eindringen der Chloroformdämpfe in die Nasenhöhlen während der Narkotisirung zu verhindern, wurden die Nasenflügel fest comprimirt; ob aber jede Berührung der Chloroformdämpfe mit der Riechschleimhaut dadurch verhindert wurde, muss bezweifelt werden.

Die Function des Trigeminus wird mehr und auf längere Zeit (jedoch kaum über $^1/_2$ Stunde) gestört. Fröhlich meint aber, dass die grössere Schärfe des Geruchsorgans nach Alkohol- und Chloroformwir-

1 Gerdy, Inspiration des vapeurs d'éther comme moyen de supprimer la douleur dans les operations chirurgicales. Archives générales de médecine XIII. 4. Serie. p. 265. Paris 1847.

2 Gerdy gibt aber nicht an, wie er die Versuche vornahm.

kung nur eine scheinbare sei und zwar durch den Vergleich mit den übrigen, in Folge der Intoxication etwas abgestumpften Sinnesorganen.

4. Atropin; Daturin. Nach Einwirkung von 5 Mgrm. Atropin konnte Lichtenfels die Essigsäure nicht riechen; auch $2^1/_2$ Stunden später wurden die Gerüche verwechselt und einige Stunden später zeigte sich immer noch eine gewisse Unempfindlichkeit für alle Gerüche. Nach Einwirkung von 5 Mgrm. Daturin konnte Fröhlich 1 Stunde darnach die Gerüche ihrer Verschiedenheit nach unterscheiden, jedoch keine genaue Bestimmung derselben vornehmen, es kamen selbst Geruchsverwechselungen vor und auch für Essigsäure und Ammoniak war er weniger empfindlich. Geruchslosigkeit trat aber nicht ein. — Fröhlich meint, dass die beobachteten Erscheinungen nicht so sehr von einer Functionsstörung des Olfactorius als vielmehr von der Secretionsstörung der Nasenschleimhaut abhängen, weil beide Substanzen Trockenheit der Schleimhaut herbeiführen. Die Empfindlichkeit der Tastnerven nach Atropin und Daturin ist nicht geschwächt.

5. Morphin. $^1/_2$ Stunde nach Anwendung von 8 Cgrm. Morphin wurde von Fröhlich die Essigsäure schwächer und alienirt, das Ammoniak viel weniger, aber in geringer Menge nicht unangenehm empfunden. Für die reinen Geruchseindrücke war das Unterscheidungsvermögen bedeutend geschwächt, es kamen viele Verwechselungen vor. Alle Riechstoffe, selbst solche von bedeutender Intensität, schienen ihm in weiter Ferne zu sein, wenn sie auch unmittelbar unter der Nase sich befanden. 3 Stunden später hatte die Wirkung den Höhepunkt erreicht. Die scharfen Riechstoffe wurden gar nicht mehr erkannt und die Verwechselung der reinen Gerüche war eine „wahrhaft chaotische". Hierbei aber wurde an der Nasenschleimhaut gar keine Veränderung beobachtet. Fröhlich S. 334 sagt, „es ist dies der einzige mir bekannte Fall einer bedeutenden Narkose des N. olfactorius".

6. Strychnin. Vor allem wurde die Normalentfernung bestimmt, in welcher gewisse Gerüche noch erkannt werden konnten. Diese Entfernung wurde bei möglichst ruhiger Atmosphäre in der Art ermittelt, dass Fläschchen, welche die Riechstoffe enthielten, einem Lineale entlang der Nase zugeführt wurden, dabei wurden die Fläschchen erst geöffnet, wenn sie sich am Lineale in der Richtung der Nase befanden; in derselben Richtung geschah auch die Annäherung und zwar nicht allzu langsam, um nicht durch längeres Offenhalten der Fläschchen die Gerüche in der Atmosphäre sich verbreiten zu lassen. Fröhlich gibt als Normalentfernungen:

	Nelkenöl	Lavandelöl
für Fröhlich	140	160 Mm.
für Lichtenfels	105	120 „

Die Fehlergrösse betrug im Maximum 40 Mm. Fröhlich nahm 2 Cgrm., Lichtenfels nur 1 Cgrm. Strychnin, bei beiden waren die Erscheinungen dieselben. — Schon 30 Min. nach Einverleibung dieser Stoffe war der Geruchssinn ausserordentlich geschärft, „die Geruchsempfindungen wurden

viel deutlicher und präciser aufgefasst und machten einen äusserst angenehmen Eindruck". — Alle Gerüche rochen lieblich duftend und sogar die widerwärtigen (Assa foetida, Knoblauch, Valeriana celtica) machten keinen unangenehmen Eindruck, obwohl ihr eigenthümlicher Geruch nicht zu verkennen war, doch war derselbe ebenso wie der von Styrax, Bals. peruvianum etc. alienirt.

Bei örtlicher Einwirkung des Strychnins nahm die Schärfe um das Dreifache, bei der allgemeinen Einwirkung um das Doppelte zu.

Wir haben früher (S. 276) gesehen, dass bei der örtlichen Einwirkung des Strychnins trotz der profusen Schleimsecretion die gesteigerte Geruchsschärfe nicht abnahm, ausserdem war die Empfindlichkeit der Schleimhaut so gesteigert, dass einigermaassen scharfe Gerüche (Essigsäure, Ammoniak, Tabak) Schmerzen bewirkten.

Wir geben hier die kleinen Tabellen von Fröhlich.

Nach dem örtlichen Gebrauch von Strychnin.

Fröhlich.			Lichtenfels.		
Zeit, welche seit dem Beginne des Versuchs verflossen.	Lavandelöl Normal (160)	Nelkenöl Normal (140)	Zeit, welche seit dem Beginne des Versuchs verflossen.	Lavandelöl Normal (120)	Nelkenöl Normal (105)
10 Minuten	—	140 mm.	15 Minuten	—	180 mm.
25 „	205 mm.	—	15 „	—	160 mm.
—	—	—	39 „	225 mm.	—
45 „	—	270 mm.	45 „	—	310 mm.
50 „	400 mm.	—	50 „	315 mm.	—
8 Stunden	330 mm.	300 mm.	8 Stunden	290 mm.	270 mm.

Nach dem innerlichen Gebrauch von Strychnin; Riechstoff: Nelkenöl.

	Normalbestimmung (Mittel)	Eine Stunde nach dem Einnehmen	Tags darauf nach 17 Stunden
Fröhlich	140 mm.	300 mm.	245 mm.
R. Lichtenfels	105 mm.	350 mm.	215 mm.

Da die Geruchsschärfe blos subjectiver Natur ist, so ist dieselbe auch sehr schwer zu bestimmen, ausserdem ist es kaum möglich, genau die Grenze der Entfernung auszumitteln, in welcher die Gerüche anfangen, auf den Olfactorius zu wirken; Fröhlich gibt dies wohl zu, bemerkt aber, dass solche Fehler, bei welchen die Entfernungen das Doppelte oder Dreifache betragen, nicht denkbar sind. Bezüglich der Versuche, bei welchen eine örtliche Affection angestrebt wurde, liesse sich wohl auch die Einwendung erheben, dass durch Resorption eine allgemeine Wirkung hätte entstehen können. Eine solche allgemeine Wirkung ist aber nach Fröhlich ausgeschlossen, weil mit Ausnahme eines geringen Kopfschmerzes weder eine Steigerung der Pulsfrequenz, noch eine Störung der motori-

schen Nerven beobachtet wurde; ferner die Wirkung auf jenes Nasenloch beschränkt blieb, an welchem die Anwendung stattfand.

Fröhlich betrachtet die Störungen des Geruchssinnes bei der örtlichen Application von Morphium, sowie bei der allgemeinen Vergiftung mit Atropin und Daturin als grösstentheils abhängig von der abnormen Beschaffenheit der Schleimhaut, und somit von einer Störung in der Mechanik des Riechens. — Nur die bei innerer Anwendung des Morphiums auftretende Verwechselung aller Gerüche und die bei innerlichem und äusserlichem Gebrauch des Strychnins stattfindende Verstärkung der Geruchsschärfe wird von Fröhlich mit Bestimmtheit als eine Affection des Olfactorius angesehen. — Der Olfactorius ist nach Fröhlich von allen Nerven am schwierigsten in seiner Function zu stören, während der Trigeminus sehr leicht und beinahe bei jedem Versuche nicht unbedeutend afficirt wird.

4. *Die Strömung der mit Gerüchen beladenen Luft durch die Nase.*

Es wurde schon oben S. 243 und S. 247 angegeben, dass eine Geruchsempfindung nur dann zu Stande kommt, wenn die riechenden Theilchen in einem Luftstrom dem Geruchsorgan zugeführt werden; damit jedoch eine dauernde Geruchsempfindung unterhalten werde, ist es aber auch unerlässlich, dass immer neue Theilchen des erregenden Körpers mit dem Endorgane in Berührung kommen; der Erfolg ist hierbei desto grösser, je schneller der Wechsel der Theilchen geschieht, d. h. je schneller der Strom sich bewegt. Wenn wir somit deutlich riechen wollen, ziehen wir die Luft mit einer tiefen Inspiration in die Nase oder wir machen auch wiederholte kleine Inspirationen. Der Mensch und vorzugsweise die Thiere benützen diese letzte Art beim sogenannten Spüren, Schnüffeln, Schnobern. Man sagt deshalb auch, dass das Spüren auf einem willkürlichen Einziehen der Luft beruhe, im Gegensatz vom Wittern, bei welchem die Geruchsempfindung mehr durch das Einströmen der vom Winde in die Nasenlöcher getriebenen Luft erregt wird (Bischoff[1]). Cloquet (cit. S. 225) jedoch nennt auch das Wittern ein thätiges, ein durch den Willen genauer und bestimmter gemachtes Riechen; selbstverständlich erstreckt sich der Einfluss des Willens bloss auf die Athmungswerkzeuge und nicht auf den Riechsinn als solchen. Auch Bidder [(cit. S. 248) S. 23] schliesst sich im Allgemeinen der Ansicht

1 Bischoff, Encyclopädisches Wörterbuch der med. Wissensch. XIV., herausgegeben zu Berlin. Artikel Geruchssinn. S. 459.; angeführt nach Bidder, Neue Beobachtungen etc. cit. S. 248.

Cloquet's an, da er bemerkt zu haben glaubt, dass Hunde selbst beim Wittern, wenn sie die Nase dem entgegenkommenden Luftstrome zuwenden, kurze und schnell aufeinander folgende Athemzüge machen. — Sobald der Strom durch die Nase zu fliessen aufhört, dann verschwindet auch beinahe sofort der Geruch, obwohl die Nase noch immer mit den riechenden Theilchen gefüllt ist. Demgemäss finden wir auch, dass, wenn die ganze umgebende Luft mit einem Riechstoff gleichmässig geschwängert ist, bei dem ersten Athemzug der Geruch in seiner vollen Intensität auftritt, dann verschwindet, sich aber wieder einstellt, wenn wir den nächsten Athemzug ausführen, woraus auch hervorgeht, dass diese Erscheinung nicht von einer Ermüdung des Olfactorius abhängen kann.

Fick (cit. S. 244) stellt, um dies zu erklären, die Hypothese auf, dass alle riechbaren Substanzen die Eigenschaft besitzen von der Geruchsschleimhaut rasch absorbirt zu werden, und da der schmale Luftraum im Geruchsorgan von beiden Seiten von Schleimhaut umgeben ist, so können die riechbaren Theilchen sehr rasch absorbirt werden. Unter dieser Voraussetzung muss die Geruchsempfindung fast gleichzeitig mit der Bewegung der Luft aufhören, sobald man noch eine andere wahrscheinliche Annahme hinzufügt, dass nämlich die riechbaren Stoffe, wenn sie in der Flüssigkeit der Nasenschleimhaut gelöst sind, die Nervenenden nicht mehr erregen können.

5. *Zustand der Riechschleimhaut und der dieselbe umgebenden Theile.*

Die mitgetheilten Beobachtungen von Tourtual, Weber und Fröhlich (siehe oben S. 258 und S. 259) zeigen hinreichend deutlich, dass auch eine verhältnissmässig geringfügige Veränderung der Riechschleimhaut nicht bloss die Geruchsintensität vermindert, sondern überhaupt die Wahrnehmung der Gerüche für eine verschieden lange Zeit beeinträchtigt. Andererseits ist ebenfalls klar, dass, sobald die mechanischen Bedingungen des Luftzutrittes zu der Regio olfactoria ungünstig werden, auch der Geruch geschwächt oder vollständig aufgehoben werden kann, ohne dass die Riechschleimhaut dabei nothwendiger Weise eine Veränderung erlitten zu haben braucht.

V. Abstumpfung des Geruchssinnes.

Wir fügen hier noch einige Betrachtungen über die Abstumpfung des Geruchssinnes hinzu.

Wenn das Geruchsorgan durch einige Zeit sehr intensiven Gerüchen ausgesetzt ist, dann findet man, dass der Geruchssinn für solche Gerüche abgestumpft ist; nur in dieser Weise lässt sich erklären, dass gewisse Handwerker, wie z. B. Kloakenfeger, Gerber, Leimsieder etc. mit der Zeit ganz indifferent gegen den ekelhaften Geruch ihres Gewerbes sind; wie Krebskranke die Ausdünstungen der Krebsgeschwüre, Anatomen und Chirurgen die stinkende Luft der Sectionssäle nicht mehr wahrnehmen.

Der Geruchssinn kann aber nicht bloss für Gestänke, sondern auch für Wohlgerüche abgestumpft werden, und wir finden einige Beispiele verzeichnet bei Valentin [(cit. S. 258) S. 290] und Hyrtl [(cit. S. 267) I, S. 308].

Es scheint aber auch, dass der Geruchssinn durch die Einwirkung von starken Gerüchen vollständig vernichtet werden könne; man findet wenigstens darüber eine diesbezügliche Angabe verzeichnet.

Graves[1] erzählt von einem Hauptmann in Yeomanry Corps, welcher bei der Entleerung eines grossen Abzugsteiches die Aufsicht führte, dabei den abscheulichen Ausflüssen ausgesetzt war und von dem Gestank ausserordentlich zu leiden hatte. Am folgenden Tage bemerkte er, dass er keinen Geruch mehr hatte, und von da an blieb er dieses Sinnes völlig beraubt.

VI. Gleichzeitige Einwirkung von zwei Gerüchen.

Unsere Kenntnisse über diesen Gegenstand beschränken sich auf die Angaben Valentin's (cit. S. 258), welcher folgende Beobachtungen mittheilt: Wirken ein stärkerer und ein schwächerer Geruch gleichzeitig ein, so wird dieser von jenem übertäubt. Bringt man ein Gläschen mit Schwefeläther vor das eine und eine Schachtel mit chemischen Zündhölzchen vor das andere Nasenloch, so nimmt man meistens nur die Ausdünstung des Aethers wahr. Verwendet man Aether und peruanischen Balsam zu diesem Versuche, so kann man nach Belieben den einen oder den anderen Geruch mit vorzüglicher Deutlichkeit auffassen. — Diese Versuche zeigen somit, dass die beiden verschiedenen Empfindungen im Bewusstsein sich nicht zu einer mittleren vermischen.

Valentin findet darin eine Erinnerung an den Wettstreit der Gesichtseindrücke.

---

1 Graves, Dublin Journal of Medical and Chemical Science. Sept. 1834.; angeführt nach Froriep's neue Not. XLII. Nr. 918. S. 255. 1834.

VII. Wirkung der Gerüche auf das Centralorgan.

Cloquet (cit. S. 225) bespricht im V. Capitel, S. 49—66, die Wirkung der Gerüche, und hat eine ganze Reihe von Fällen über die Wirkung der angenehmen und unangenehmen Gerüche zusammengestellt. Ich kann aber die Bemerkung nicht unterdrücken, dass eine sehr strenge kritische Prüfung dieser Angaben besonders der älteren gewiss am Platze wäre. — Es kann wohl nicht geläugnet werden, dass Gerüche verschiedenartige Erscheinungen hervorzubringen im Stande sind, und wenn hierbei manchmal wohl auch die Einbildungskraft bedeutend im Spiele sein mag, so lässt sich dies doch nicht für alle Fälle behaupten. Es liegen mir eigene Erfahrungen vor, welche zeigen, dass in Folge von Gerüchen verschiedene Erscheinungen hervortreten können.

Wenn ich vor etlichen Jahren bei einer Apotheke vorbeiging, in welcher Ricinussamen gepresst wurden, hatte ich in Folge des bis auf die Strasse sich verbreitenden Geruches ein Ekelgefühl, welches sich manchmal bis zur Brechneigung steigerte. — Als ich mich in einem Zimmer befand, in welchem viele Campherdämpfe vorhanden waren, wurde ich von Kopfschmerz und leichter Brechneigung befallen. — Es ist mir ein Herr bekannt, welcher durch den Geruch von Aepfeln Kopfschmerzen bekommt; geruchlose Aepfel verträgt er sehr gut.

Dass in Folge der Einwirkung von Gerüchen verschiedene Erscheinungen hervortreten, wird auch von anderen Physiologen angeführt, so z. B. Valentin (De functionibus etc. und Lehrbuch etc. cit. S. 238); Wagner (cit. S. 238); Bidder [(cit. S. 238) S. 924].

Bidder macht auch darauf aufmerksam, dass Riechstoffe, welche mit der Luft in die Lungen gelangen, absorbirt werden und somit auch entferntere Wirkungen veranlassen können, woraus zu erklären ist, wie schon das Riechen abführender Mittel, z. B. Rhabarber, Durchfall erzeugen kann und die weisse Niesswurzel ebenfalls schon durch ihren Geruch Erbrechen hervorzurufen im Stande ist.

Es kann gewiss nicht geleugnet werden, dass die Gerüche ausserordentlich mächtig auf das Centralnervensystem wirken und dass dieselben auch auf das Geschlechtsleben einen bedeutenden Einfluss ausüben. Cloquet [(cit. S. 225), Cap. VI, S. 66—74], welcher die Verbindung des Riechsinnes mit den verschiedenen Verrichtungen des Körpers bespricht, erwähnt auch eine ganze Reihe Beobachtungen nicht bloss an Thieren, sondern auch an Menschen, um eben die Wirkung der Gerüche auf das Geschlechtsleben zu beweisen. Die Be-

obachtungen an Menschen bedürfen aber nach meinem Erachten einer strengeren Schichtung; man darf dabei nicht übersehen, dass die Geruchsempfindungen mit Seelenzuständen innig verknüpft sind, und somit auch leicht auf den geschlechtlichen Trieb des Menschen einzuwirken im Stande sein dürften.

Die Nasenschleimhaut wird sehr häufig benutzt um Reize zu appliciren, z. B. um bei Asphyxie und Syncope Belebungsversuche vorzunehmen. Wenn sich auch nicht in Abrede stellen lässt, dass durch die angewendeten Mittel sehr häufig die Geruchsnerven erregt werden — und diese bieten einen sehr günstigen Angriffspunkt, weil dabei in der Regel sämmtliche Fasern eines ganzen starken Nervenpaares in Erregung versetzt werden — so darf man doch nicht vergessen, dass meistens solche Mittel angewendet werden, die auch auf die sensitiven Nerven wirken, und dass namentlich der hierbei erregte Trigeminus ein Nerv ist, welcher sehr leicht Reflexe auslöst.

VIII. Nachempfindung von Gerüchen.

Unsere Kenntnisse über diesen Gegenstand sind noch immer im höchsten Grade mangelhaft.

J. Müller [(cit. S. 237) II, S. 488] sagt, dass solche Nachempfindungen nicht bekannt seien, obgleich sie schwerlich fehlen dürften; eine reine Beobachtung sei aber schwer. Der oft sehr lange in der Nase verharrende Cadavergeruch nach Sectionen könne nicht für einen Beweis der Nachempfindung gehalten werden, da er wahrscheinlich objectiv sei, nämlich von Auflösung des Riechstoffes in dem Nasenschleim herrühren könne. Es ist aber kaum denkbar, dass die vermeinte Auflösung in dem Nasenschleim die Ursache dieser Erscheinung sei, eher kann man mit Valentin [(cit. S. 258) S. 291] denken, dass die mit Gestank geschwängerte Luft in der Nase (?) oder vielleicht in den Nebenhöhlen verblieben sei.

Hermann (cit. S. 272) führt an, dass bei ihm nach gewissen lebhaften Gerüchen, z. B. den von einem Cadaver herrührenden, jede innerhalb einiger Stunden folgende unangenehme Geruchsempfindung auf das Deutlichste den Charakter der ersten habe.

Es darf aber nicht übersehen werden, dass die Kleider, die Haut und die Haare die Gerüche sehr lange zurückbehalten, auf welche Umstände immer die grösste Aufmerksamkeit gerichtet werden muss, sobald es sich um Nachempfindungen von Gerüchen handelt.

IX. Subjective Geruchsempfindungen.

CLOQUET [(cit. S. 225) S. 237] führt folgenden Versuch von DUPUYTREN an: Dieser spritzte in die Adern eines Hundes eine riechende Substanz, „der Hund öffnete die Nüstern, hob den Kopf und lief umher, als wollte er die Stelle auswittern, wo der Geruch herkäme. Der Name dessen, der die Versuche anstellte, spricht für ihre Wahrheit". Es ist zu bedauern, dass nicht angeführt wurde, welcher Geruchsstoff eingespritzt wurde, die Möglichkeit aber, dass die Riechstoffe in die Ausathmungsluft übertreten und auf diese Weise von den Geruchswerkzeugen wahrgenommen wurden [VALENTIN (cit. S. 258) S. 392] ist nicht ausgeschlossen.

Dass subjective Geruchsempfindungen, nämlich Erregung der Geruchsnerven aus inneren Ursachen, vorkommen, wird von sehr vielen Physiologen angenommen. [CLOQUET (l. c.) S. 236; J. MÜLLER (cit. S. 237) I, S. 759; VALENTIN (De functionibus etc. cit. S. 238); ROMBERG[1], S. 139; BIDDER (cit. S. 238) S. 924.] Wir finden in den eben citirten Werken eine ganze Reihe Beobachtungen angeführt.

LUDWIG (cit. S. 267) läugnet wohl nicht die Möglichkeit, dass Geruchsempfindungen entstehen können, ohne dass in der Luft ein Geruch vorhanden sei, er glaubt jedoch, dass die meisten derartigen Erscheinungen durch die Gegenwart von Riechstoffen in den Lungen, in der Mundhöhle oder in der Nase bedingt seien, welche aus dem Blute oder auf irgend eine andere Weise in diese Organe gelangten, seltener ereigne es sich, dass im Hirn Zustände eintreten, welche zum Geruch Veranlassung geben. Träume, in welchen der Geruch eine Rolle spielt, kämen gewiss sehr selten vor. — Auch FICK (cit. S. 244) ist sehr misstrauisch gegen subjective Geruchsempfindungen und bemerkt, dass es etwas missliches sei, eine allgemeine physiologische Lehre ganz allein auf einige Aussagen von Kranken über ihre eigenen Zustände zu gründen.

Wenn es auch ganz richtig ist, dass im Allgemeinen alle Erzählungen von Kranken über subjective Empfindungen mit einem gewissen Misstrauen aufgenommen werden müssen, so ist doch zu erwähnen, dass Fälle beobachtet wurden, bei welchen die Patienten während des Lebens über subjective Gerüche geklagt haben und nach dem Tode einer oder beide Geruchsnerven in Folge von Geschwülsten oder in Folge anderweitiger Ursachen mehr oder weniger comprimirt gefunden wurden. [Vergl. die oben S. 284 angeführten

---

1 ROMBERG, Lehrb. der Nervenkrankheiten des Menschen. 2. Aufl. Berlin 1851.

Quellen und LOCKEMANN[1]. Ausserdem sei erwähnt, dass FRÖHLICH [(cit. S. 257) S. 337] mit Bestimmtheit sagt, er habe nach dem Einschnupfen von Morphin eine wohl sehr schwache aber deutliche subjective Geruchsempfindung gehabt, die während der ganzen Versuchszeit fortdauerte. FRÖHLICH erwähnt weiter, dass alle anderen Sinnesorgane mit Ausnahme des Geschmackssinnes solchen Täuschungen ausgesetzt waren.

1 LOCKEMANN, Zur Casuistik der Geruchsanomalien. Ztschr. f. rat. Med. (3) XII. 1861.

PHYSIOLOGIE DER HAUTEMPFINDUNGEN

UND

DER GEMEINGEFÜHLE

VON

WEIL. PROF. O. FUNKE IN FREIBURG UND PROF. E. HERING IN PRAG.

Der nachfolgende Abschnitt war FUNKE's letzte Arbeit. Am 16. August 1879 wurde er durch eine langwierige und qualvolle Krankheit den Seinen, der Wissenschaft und dem Kreise der Bearbeiter dieses Handbuches entrissen. Mit Aufbietung seiner letzten Kräfte hatte er den von ihm übernommenen Antheil des Werkes, für welches er ein warmes Interesse hatte, bis nahe zur Vollendung gefördert, und im Entwurfe wirklich abgeschlossen.

OTTO FUNKE wurde am 27. October 1828 als Sohn eines hohen sächsischen Beamten in Chemnitz geboren. Auf dem Zwickauer Gymnasium und der Dresdener Kreuzschule vorgebildet, studirte er von Ostern 1846 bis ebendahin 1851 in Leipzig Medicin und promovirte mit der bekannten Abhandlung: „de sanguine venae lienalis". Zwei Jahre später habilitirte er sich in Leipzig für Anatomie und Physiologie, wurde 1854 zum Extraordinarius ernannt, und Ostern 1860 als ordentlicher Professor der Physiologie und Zoologie an MEISSNER's Stelle nach Freiburg berufen; fast zwanzig Jahre lang gehörte er zu den Zierden der Freiburger Universität, deren Rectorat er zweimal bekleidete.

FUNKE's zahlreiche Arbeiten, welche sich fast auf alle Gebiete der Physiologie erstreckten, ferner sein grosses Lehrbuch der Physiologie, welches in mustergültiger Weise den physiologischen Lehrstoff zu beherrschen wusste, zu einer Zeit, wo derselbe in voller Umwälzung begriffen war, sind unvergängliche Denkmäler seines Geistes, seines Wissens und seiner Arbeitskraft. Seine Wärme und Energie, seine Vaterlandsliebe, seine Rednergabe führten ihn zu segensreichem Wirken weit über den Bereich seiner Forscher- und Lehrerthätigkeit hinaus; seine aufopfernde Wirksamkeit zur Zeit des letzten Krieges ist in weiten Kreisen in dankbarer Erinnerung. Seine hohe persönliche Liebenswürdigkeit machte ihn zu einer Erscheinung, welche Jeder, der mit ihm in Berührung kam, lieb gewann. So hinterlässt er nicht bloss in der Wissenschaft, sondern auch in vielen Herzen eine schmerzliche Lücke.

Herrn Professor LATSCHENBERGER, welcher die grosse Güte gehabt hat, den Schluss der Arbeit in FUNKE's Sinne und nach dessen hinterlassenem Entwurf zu Ende zu führen, erlaube ich mir für diese Förderung des Werkes bestens zu danken.

L. H.

ERSTER THEIL.

DER TASTSINN UND DIE GEMEINGEFÜHLE.

VON

PROF. O. FUNKE IN FREIBURG.

ERSTES CAPITEL.

Der Tastsinn im Allgemeinen und seine Beziehungen zu den Gemeingefühlen.

I. Tast- und Gemeingefühle.

Unter Tastsinn[1] verstehen wir das an die äussere Haut und die Eingänge der Schleimhäute gebundene Vermögen, auf mechanische oder thermische Reizung der in ihnen endigenden sensibeln Nerven zwei specifische Empfindungsqualitäten, die Druck- und Temperaturempfindungen, zu erzeugen, welche von der Seele, unter Verknüpfung mit mehr oder weniger genauen Vorstellungen von den gereizten Orten des Tastorgans, zu Wahrnehmungen über bestimmte Qualitäten und Zustände der reizenden äusseren Objecte, sowie über deren räumliche Verhältnisse verarbeitet werden. Die Auffassung der beiden genannten Empfindungsqualitäten als specifisch verschiedene Seelenzustände hat zur Trennung des Tastsinns in einen Drucksinn und Temperatursinn veranlasst. Die Berechtigung dieser Scheidung würde eine unzweifelhafte sein, wenn sich erweisen liesse, dass trotz des gemeinschaftlichen Sitzes beider in der Haut als allgemeinem Sinnesorgan jeder derselben die Leistung eines besonderen nervösen Apparates mit specifisch verschiedenen peripheri-

---

1 Als Hauptquellen der Lehre vom Tastsinn citiren wir vorläufig nur die classischen, bahnbrechenden Arbeiten E. H. WEBER's: Annot. anat. et physiol. p. 44. Lipsiae 1834; Art.: d. Tastsinn u. d. Gemeingefühl in Wagner's Handwörterb. d. Physiol. III. 2. Abth. S. 481. Braunschw. 1846; Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1847. S. 358. 1848. S. 226. 1852. S. 85.

schen Erregungsapparaten, einerseits für mechanische, andererseits für thermische Reize, mit specifisch verschiedenen centralen Empfindungsapparaten sei. Die principielle Nothwendigkeit der in Rede stehenden Sonderung wird dagegen hinfällig, wenn festgestellt wäre, dass Druck- und Temperaturempfindungen nicht allein durch dieselben Sinnes-, Leitungs- und Empfindungsapparate vermittelt werden, sondern selbst nicht wesentlich verschieden, nur Modificationen einer identischen Grundempfindung wären. Wie die Entscheidung dieser Vorfragen auch ausfallen möge, vorläufig fordert schon die Verschiedenartigkeit der Erregungsbedingungen beider Empfindungsarten, die anscheinend absolute Heterogenität, mit welcher sie im ausgeprägten Zustand vor das Bewusstsein treten, und die Verschiedenartigkeit der objectiven Verhältnisse, zu deren Erkenntniss die Seele sie verwerthet, eine getrennte Behandlung des Druck- und Temperatursinnes. So ist auch in diesem Handbuch der Temperatursinn einem eigenen Artikel überwiesen, während uns hier nur die Darstellung des Drucksinnes in Verbindung mit dem Orts- oder Raumsinn der Haut obliegt, eine Verbindung, welche häufig als Tastsinn im engeren Sinne bezeichnet wird, weil in der That die überwiegende Mehrzahl der zufälligen Nachrichten sowohl, welche uns die Haut in ihrer wechselreichen Berührung mit Aussendingen über dieselben bringt, als der wichtigsten absichtlichen Belehrungen, welche wir uns mit bewussten Tastoperationen über äussere Verhältnisse verschaffen, auf Druckempfindungen mit den unzertrennlich damit verbundenen räumlichen Wahrnehmungen beruht. Den späteren schwierigen Erörterungen über die Entstehung der letzteren, insbesondere über die Abgränzung des „Physiologischen" vom „Psychischen", des Angeborenen vom Erworbenen des Raumsinns der Haut wollen wir nicht durch den Versuch einer einleitenden Definition vorgreifen.

Einige haben geglaubt, neben den Druck- und Temperaturempfindungen und neben den unmittelbar vom gereizten Tastorgan ausgehenden Anregungen der Seele, welche die Grundlagen der räumlichen Vorstellungen bilden, noch weitere einfache Empfindungsarten als fundamentale ursprüngliche Leistungen des erregten Tastnervenapparates unterscheiden zu müssen. So hat Meissner[1] unter dem Namen „einfache Tastempfindung" eine neben Druck- und Temperaturempfindung bei Berührung der Haut durch äussere Objecte unabhängig einherlaufende Empfindungsqualität unterschieden, deren Inhalt die

1 G. Meissner, Beitr. z. Anat. u. Physiol. d. Haut. Leipzig 1853. Ztschr. f. rat. Med. N. F. IV. S. 260. 1854. Vergl. Funke, Schmidt's Jahrb. LXXIX. S. 341. 1853. LXXXII. S. 287. 1854.

Wahrnehmung eines berührenden Objectes sein soll. So hat VIERORDT[1] im Anschluss an eine analoge von EXNER[2] für den Gesichtssinn aufgestellte Behauptung auch im Gebiete des Tastsinnes ein „Bewegungsgefühl" unterschieden, d. h. ein ebenso unmittelbar und zwangsmässig wie Druck-, Wärme- oder Kältegefühl durch die Reizung der Tastnerven unter gewissen Umständen ausgelöstes Gefühl, dessen Inhalt die Wahrnehmung der Bewegung des Tastobjectes sein soll. Es wird aus der speciellen Darstellung hervorgehen, dass und warum wir diese Unterscheidung, die Einweisung der sogenannten einfachen Tastempfindung und des Bewegungsgefühls in die Kategorie der unmittelbaren primitiven Sinnesthätigkeiten, auf welche der Begriff „Empfindung" eingeengt bleiben muss, entschieden als berechtigt nicht anerkennen können, dass wir dieselben vielmehr zu der Classe der unter der Bezeichnung „Vorstellungen" abzugränzenden secundären Acte der Sinnesthätigkeit zählen, welche die Seele durch eine in den meisten Fällen sicher erst erlernte urtheilende Thätigkeit an die primären reinen Empfindungen, und zwar in vielen Fällen an gewisse Combinationen mehrerer gleichzeitiger Empfindungen anknüpft.

Wenn die Ablösung des Temperatursinnes auf der einen Seite eine Einschränkung des hier zu behandelnden Gebietes mit sich bringt, sind wir auf der anderen Seite veranlasst, über seine engeren Gränzen hinauszugreifen. Ein wesentlicher Theil der Charakteristik der Tastempfindungen beruht auf der Feststellung ihrer unterscheidenden Merkmale gegenüber den sogenannten „Gemeingefühlen", d. h. einer Reihe von Empfindungen, welche zwar an sich heterogen, aber durch die theilweise Identität der Erregungsherde und vielleicht sogar des vermittelnden nervösen Apparates, sowie durch die Identität oder nur graduelle Verschiedenheit der Erregungsbedingungen unter sich und mit den Tastempfindungen in verwandtschaftliche Beziehung gestellt werden. Die Charakteristik der letzteren erheischt daher eine eingehende vergleichende Analyse der Gemeingefühle, insbesondere ihres Hauptrepräsentanten: der Schmerzempfindung. Bei der Durchführung derselben wird sich die Nothwendigkeit herausstellen, aus dem Verband der Gemeingefühle eine specifische Empfindungsart auszuscheiden, welcher jede Heimathsberechtigung in dieser untergeordneten Classe von Empfindungen fehlt, welche vielmehr durch die Art ihrer psychischen Verwerthung sich als eine ächte Sinnesempfindung sui generis ausweist, und als solche zuerst von

1 C. VIERORDT, Ztschr. f. Biologie XII. S. 226. 1876.
2 S. EXNER, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXII. S. 156. 1875.

E. H. Weber und nach seiner klaren Beweisführung von der Mehrzahl der Physiologen als Grundlage eines besonderen sechsten Sinnes angesprochen worden ist, d. i. die eigenthümliche, die Thätigkeit unserer willkürlichen Muskeln begleitende Empfindung, das sogenannte „Muskelgefühl", auf dessen Interpretationen die Leistungen des vielseitigen „Muskelsinnes" beruhen. Obwohl demnach diesem Sinn in Folge der specifischen „Modalität" (Helmholtz) seiner Empfindungen und des Besitzes eigener Apparate ein selbständiges Gebiet zuerkannt werden muss, ist doch eine, wenn auch nur beiläufige Besprechung und Zergliederung seiner Leistungen hier so wenig wie in der Lehre vom Gesichtssinn zu umgehen, weil zahlreiche Gesichts- und Tastwahrnehmungen lediglich unter seiner Mitwirkung zu Stande kommen, weil wir die Frage zu prüfen haben, ob ihm bei der Erziehung des Raumsinnes der Haut eine wesentliche Rolle zuzusprechen sei.

Die Physiologie fast gemeinhin unter dem Sammelnamen: „Gefühlsempfindungen" alle diejenigen mannigfachen, unter sich nicht vergleichbaren und an sich, wie alle Empfindungen, nicht definirbaren Empfindungsarten zusammen, welche von allen überhaupt „empfindlichen" Organen und Geweben des Körpers ausser den peripherischen Eigenapparaten des Seh-, Gehörs-, Geruchs- und Geschmacksnerven aus vermittelt werden, welche also nicht Gesichts-, Gehörs-, Geruchs- oder Geschmacksempfindungen sind. Zu dieser negativen Kategorie rechnet man Schmerz-, Kitzel-, Schauder-, Wollust-, Hunger-, Durst-, Druck-, Temperatur-Empfindungen, ferner zwei Arten von Empfindungen, welche die Thätigkeit der willkürlichen Muskeln begleiten: das sogenannte Muskel- oder Anstrengungsgefühl im engeren Sinne, welches wir bereits vorläufig als specifische Sinnesempfindung bezeichnet haben, und das sogenannte Ermüdungsgefühl.

Es fragt sich, wie weit diese Zusammenfassung auch durch irgend welche positive verwandtschaftliche Beziehungen der aufgezählten Empfindungen gerechtfertigt ist, da selbstverständlich ihre Nichtidentität mit den Empfindungen der genannten übrigen Sinne dieselbe nicht genügend begründet. In der That ist nun der Nachweis einer solchen positiven Gemeinschaft nicht mit Sicherheit und nicht für alle in Rede stehenden Gefühle zu führen. Aus dem unbestreitbaren Satz, dass keine einzige Empfindungsqualität nach objectiven, ihr selbst angehörigen Merkmalen in ihrem Wesen definirt werden kann, folgt von selbst, dass es auch nicht Gleichheit irgend welcher Eigenschaften aller sogenannten Gefühlsempfindungen selbst

sein kann, auf welche sich ihre Coordination basiren lässt. Durst- und Wollust- oder Kitzel- und Ermüdungsgefühl stehen einander ebenso unvergleichbar gegenüber, wie Licht- und Tonempfindung, und wenn man behauptet, dass gewisse Paare der aufgezählten Gefühle, wie Kitzel- und Wollust- oder Kitzel- und Schaudergefühl in einem ähnlichen subjectiven Verwandtschaftsverhältniss zu einander zu stehen scheinen, wie zwei notorisch in ein und dasselbe Gebiet eines anderen Sinnes gehörige Empfindungsqualitätenpaare, z. B. zwei Lichtempfindungen verschiedener Farbe oder zwei Tonempfindungen verschiedener Höhe, für welche uns auch jedes objective Verwandtschaftsmerkmal fehlt, so mangelt dieser Behauptung das Beweismittel, auf welches hin wir mit Recht z. B. zwei Tonempfindungen subjectiv als Modificationen einer identischen Empfindungsmodalität auffassen, d. i. die Wahrnehmbarkeit von Uebergangsempfindungen. Es scheint uns ja in der That bei stätiger Zunahme der Schwingungszahl, wie wir sie z. B. bei einer in Schwingung versetzten gespannten Saite durch stätige Erhöhung der Spannung erzielen können, die Tonempfindung ganz allmälig ohne Sprünge die Qualität, welche wir als Höhe bezeichnen, zu ändern. Allerdings scheint uns auch das Wärmegefühl, welches bei Einwirkung einer höheren Temperatur auf eine bestimmte Hautpartie entsteht, ganz successiv in Schmerzempfindung überzugehen, wenn wir die einwirkende Temperatur stätig wachsen lassen. Aber es fragt sich doch sehr, ob eine vollständige Analogie zwischen diesem Uebergang und dem der Tonhöhe besteht. Erstens findet letzterer in ganz gleicher Weise in der ganzen Breite der Empfindungsscala statt, während die Schwelle des Schmerzes nur in ein ganz bestimmtes engbegränztes Gebiet der Wärmeempfindungsscala fällt. Zweitens ist der Uebergang der Wärmeempfindung in Schmerz bei der successiven Erwärmung der Haut ebenso gut als durch die allmälige Modification einer identischen Grundempfindung dadurch zu erklären, dass bei einer bestimmten Reizstärke der Schmerz, als eine neue Empfindungsmodalität, sich gewissermaassen neben der Temperaturempfindung einschleicht, und dieselbe im Bewusstsein übertäubt, oder auch, dass letztere überhaupt bei den schmerzerweckenden Reizgraden nicht mehr zu Stande kommt. Drittens ist hervorzuheben, dass wir zwar in der ganzen Breite der Tonempfindungsscala Empfindungen verschiedener Höhe, sobald sie nicht zu weit auseinanderliegen, oder unser „Gehör“ nicht durch Uebung sehr verfeinert ist, mit einander verwechseln können, nicht aber eine Wärmeempfindung mit einer Schmerzempfindung. Auf weitere, wenn auch nicht in ihrem eigenen Wesen begründete

Differenzen der beiden letzteren kommen wir alsbald zu sprechen. Ebenso soll an einer späteren Stelle die speciell für Druck- und Temperaturempfindungen auf Grund der Möglichkeit einer Verwechslung beider behauptete nahe Verwandtschaft näher discutirt werden.

Dass man die Zusammengehörigkeit der Gefühlsempfindungen in eine Kategorie nicht darauf begründen kann, dass eine Reihe derselben durch einen und denselben reizenden äusseren Vorgang, wenn auch durch verschiedene Grade desselben hervorgerufen wird, z. B. Kitzel-, Schauder-, Wollust-, Druck- und Schmerzempfindung durch verschiedene Grade der Compression einer und derselben oder verschiedener Hautpartien, liegt auf der Hand. Wir müssten sonst als Consequenz dieser Beweisführung anerkennen, dass auch Licht- und Geschmacksempfindungen nur Unterarten einer und derselben Modalität seien, weil beide durch den elektrischen Strom hervorgerufen werden können.

Als gewichtigstes Argument für die in Frage stehende Zusammenfassung gilt allgemein die als thatsächlich begründet angenommene Vermittelung je mehrerer Gefühlsarten durch denselben nervösen Apparat, insbesondere die Annahme, dass eine Empfindungsart, d. i. der Schmerz, Gemeingut aller sensibeln Apparate sei, welche irgend ein oder mehrere der übrigen Gefühle zu vermitteln im Stande sind. So nehmen die Meisten an, dass derselbe Apparat, aus denselben peripherischen Endvorrichtungen in der Haut, denselben leitenden Nervenfasern und denselben centralen Empfindungsapparaten bestehend, es sei, welcher bei mässiger Compression der Haut Druckempfindung (vielleicht auch Kitzel- und Schaudergefühl), bei Aenderungen der Hautwärme innerhalb gewisser Gränzen Wärme- und Kältegefühl, und endlich bei Einwirkung hoher Wärme- und Kältegrade oder starker Compression das Gemeingefühl des Schmerzes hervorbringe, dass dieselben sensibeln Fasern, welche bei mässiger Muskelthätigkeit die als Grundlagen von Sinneswahrnehmungen verwertheten „Muskelgefühle“ erzeugen, bei excessiver oder zu häufiger Muskelarbeit den Anstrengungs- oder Ermüdungsschmerz vermitteln, dass vielleicht auch Cardialgie und Hunger nur Leistungsmodificationen des gleichen Magennervenapparates sind. Auch diesem Argument stehen gewisse gewichtige Bedenken in Betreff seiner thatsächlichen Begründung und folglich seiner Beweiskraft für die vorliegende Frage gegenüber, selbst wenn wir von solchen Empfindungen wie Hunger und Durst, deren Erregungsweise noch ebenso unbekannt ist, wie ihr vermittelnder Nervenapparat, ganz absehen und uns nur an die in dieser Beziehung am besten studirten Hautgefühle halten.

Sind Druck-, Wärme-, Kälte- und Schmerzempfindung verschiedene Effecte eines identischen Nervenapparates, so ist diese Vielseitigkeit seiner Leistungen erklärlich, selbstverständlich nur unter der Annahme, dass eine und dieselbe leitende Nervenfaser zu verschiedenen Modificationen des Erregungsvorganges, welche durch verschiedene Arten des peripherischen Anspruchs hervorgerufen in den Centralapparaten die verschiedenen Arten der Empfindung auslösen, befähigt ist. Denn eine qualitativ unter allen Umständen identische Reizwelle kann in demselben Wirkungsapparat, welchem die Nervenfaser sie zuträgt, doch unmöglich wesentlich verschiedene Effecte, sondern muss immer nur denselben Vorgang, in quantitativen Abstufungen je nach ihrer eigenen Mächtigkeit, erzeugen. Obwohl nun von vornherein die Möglichkeit, dass verschiedene Arten der Erregung existiren und gerade die sensibeln Hautnervenfasern dazu befähigt sind, bei unserer Unkenntniss vom Wesen des Erregungsvorganges überhaupt weder direct erwiesen noch absolut widerlegt werden kann, so sind es doch sehr gewichtige allgemeine Gründe, auf welche hin der entgegenstehende Lehrsatz, dass es nur eine einzige für sämmtliche Nervenfasern identische Art der Erregungsbewegung gebe, mehr und mehr zum Axiom der allgemeinen Nervenphysiologie erhoben worden ist. Es ist hier nicht der Ort zu einer kritischen Abwägung dieser Gründe, nur das möchten wir hier besonders betonen, dass es gerade die Sinnesphysiologie ist, in welcher neuerdings dieser Lehrsatz bis zu den äussersten Consequenzen ausgebaut, aber auch mit den plausibelsten thatsächlichen Belegen gestützt worden ist. Während man den Hautnerven zumuthet, durch verschiedene Erregungsmodificationen zwei so verschiedene Empfindungsmodalitäten wie Druck- und Schmerzempfindung zu vermitteln, bringt man im Gebiete des Gesichts- und Gehörssinnes nicht einmal die verschiedenen Qualitäten derselben Modalität, d. i. die Lichtempfindungen verschiedener Farbe, die Tonempfindungen verschiedener Höhe auf Rechnung verschiedener Erregungsvarietäten derselben Opticus- und Acusticusfasern, sondern nimmt mindestens für eine Reihe von Grundqualitäten eine entsprechende Anzahl nervöser Sonderapparate mit specifischen Erregungs- und Wirkungsvorrichtungen an, wobei natürlich jeder Grund, den betreffenden Nervenfasern specifische Leitungsvorgänge zuzuschreiben, wegfällt. Im Gebiete des Lichtsinns statuirt die YOUNG'sche Hypothese für jeden Empfindungskreis der Netzhaut eine Trias von Apparaten, welche bei Gleichartigkeit ihrer Nervenfasern sich durch verschiedene Empfindlichkeit ihrer peripherischen Enden für Aetherwellen verschiedener Geschwin-

digkeit und durch die verschiedene Farbe der Empfindung, welche die Erregung in ihren centralen Endzellen auslöst, unterscheiden, und danach in nicht correctem Ausdruck als roth-, grün- und violettempfindende Fasern bezeichnet werden. Dieser Hypothese ist allerdings von HERING kürzlich eine neue gegenübergestellt worden, welche zwar auch eine Anzahl verschiedener „Sehsubstanzen" mit zugehörigen Leitungs- und Perceptionswerkzeugen für die Erzeugung verschiedener Farbenempfindungsqualitäten in Anspruch nimmt, aber — was uns hier allein interessirt — insofern dem Satz von der Einartigkeit des Erregungsvorganges in den Nervenfasern derart widerspricht, als sie jeder Sehsubstanz je zwei antagonistische Qualitäten der Reaction zuerkennt, von denen die eine durch einen „Dissimilationsprocess", die andere durch einen „Assimilationsprocess" im peripherischen Perceptionsapparat erzeugt wird, mithin nothwendigerweise auch für die zu jeder Sehsubstanz gehörigen leitenden Nervenfasern je zwei Modificationen des Erregungsvorganges annehmen muss. Erhält HERING Recht gegen YOUNG, so würde freilich die Analogie zu Gunsten der Vorstellung, dass auch der Druck- Temperatur- und Schmerzempfindung verschiedene Modi der Erregung derselben Hautnervenfasern zu Grunde liegen, sprechen. Ganz entschieden gegen diese Vorstellung spricht aber die Analogie im Gebiete des Gehörssinnes. Hier kann ein stichhaltiger Zweifel nicht aufkommen an der von HELMHOLTZ auf die anatomisch-physikalische Analyse des CORTI'schen Organs begründeten Lehre, dass letzteres eine Claviatur von abgestimmten Resonatoren darstellt, deren jeder durch die seiner Schwingungszahl entsprechende Schallbewegung angesprochen eine besondere Nervenfaser erregt, welche ihrerseits — und zwar durch einen in allem identischen Erregungsvorgang einen gesonderten Empfindungsapparat, welcher gewissermaassen auf eine Empfindung von bestimmter Höhe gestimmt ist, in Thätigkeit setzt. Wie es sich bei den übrigen Sinnen verhält, ob sich auch die verschiedenen Qualitäten der Geruchs- und Geschmacksempfindungen auf verschiedene Sonderapparate vertheilen, ist vorläufig durchaus unentschieden; zu einer sicheren Antwort auf die in Betreff der Hautgefühle aufgeworfene Frage bietet mithin die Analogie keineswegs noch genügende Unterlagen. Es giebt aber noch ein Factum, welches wenigstens eine vollständige Identität des Tastempfindungs- und des Schmerzempfindungsapparates der Haut sehr in Zweifel stellt, d. i. die Thatsache, dass unter Umständen die Schmerzempfindlichkeit der Haut vollkommen aufgehoben sein kann, während ihre Tastempfindlichkeit ungeschwächt oder sogar erhöht fortbesteht und umgekehrt.

Ersteres Verhalten, welches mit dem Namen „Analgesie" (BEAU[1]) oder Analgie (LOTZE[2]) bezeichnet worden ist, kommt beim Menschen nicht selten zur Beobachtung. Einmal tritt es regelmässig in gewissen Stadien der Aether- oder Chloroformnarkose ein, in denen die betreffenden Personen zwar noch jede Berührung ihrer Haut deutlich wahrnehmen, aber selbst bei den heftigsten Schmerzeingriffen durch keinerlei Zeichen eine Schmerzempfindung kundgeben. Zweitens ist die Analgesie eine nicht seltene Erscheinung bei gewissen krankhaften Zuständen, bei denen allen jedoch keine pathologische Veränderung der Haut nachweisbar ist. So hat BEAU dieselbe in vielen Fällen bei Bleikachexie beobachtet; am häufigsten zeigt sie sich bei pathologischen Zuständen der Centralorgane des Nervensystems, insbesondere des Rückenmarks, ohne dass jedoch bisher ein constanter Zusammenhang mit bestimmten Formen und einem bestimmten Sitz der Erkrankung ermittelt wäre. Zu wichtigen Ergebnissen in letzterer Beziehung hat dagegen das physiologische Experiment geführt. Nach SCHIFF[3] tritt bei Thieren Analgesie in den hinteren Extremitäten ein, wenn man oberhalb des Ursprungs der Lendennerven die graue Substanz des Rückenmarks oder auch zugleich die weisse Substanz mit alleiniger Ausnahme der Hinterstränge quer durchschneidet. Solche Thiere beantworten die leiseste Berührung der hinteren Extremitäten mit Reactionen z. B. Ohrenspitzen, welche von der vorderen Körperhälfte ausgehend die ungestörte Leitung des Tasteindruckes zum Hirn beweisen, während sie eine bis zur Zerquetschung gesteigerte Compression der Haut ohne das mindeste Zeichen einer Schmerzempfindung ertragen. Umgekehrt sah SCHIFF bei alleiniger Durchschneidung der Hinterstränge oder des ganzen Marks mit Ausnahme einer aus grauer Substanz bestehenden Verbindungsbrücke die Schmerzempfindlichkeit nicht allein erhalten bleiben, sondern sogar erhöht werden; ob dabei vollständige tactile Anästhesie vorhanden war, lässt sich aus den Versuchen nicht mit Bestimmtheit entscheiden. Indem wir in Betreff der näheren Erörterung dieser Thatsachen auf den Artikel „Rückenmark" verweisen, ziehen wir hier nur die auf unsere Frage bezüglichen Folgerungen. Offenbar kann nicht daran gedacht werden, die Analgesie aus einer Abstumpfung der Empfindlichkeit der peripherischen Enden eines für Tast- und Schmerzempfindung gemeinschaftlichen Nervenapparats für Schmerzreize zu erklären; denn abgesehen von den

1 BEAU, Arch. gén. d. med. Janv. 1848. Froriep's neue Not. S. 135. April 1848.
2 LOTZE, Med. Psychologie. S. 250. Leipzig 1852.
3 SCHIFF, Lehrb. d. Physiol. I. S. 228. Lahr 1858.

Thatsachen, welche ganz bestimmt auf eine centrale Quelle des Zustandes hinweisen, wäre es paradox, eine Abstumpfung für starke mechanische und thermische Reize, welche Schmerz erzeugen, anzunehmen und die Erregbarkeit desselben Apparats für schwache Reize gleicher Art fortbestehen oder sogar wachsen zu lassen. Ein analoges Raisonnement verbietet, die Erklärung in einer Herabsetzung der Reactionsfähigkeit eines gemeinschaftlichen centralen Empfindungsapparats für starke Erregungen, wie sie die Schmerzreize an der Peripherie auslösen, zu suchen. Ganz entschieden drängen die Ergebnisse des physiologischen Experiments zu der Annahme, dass mindestens vom Rückenmark an eine Scheidung der Wege und Apparate für Tast- und Schmerzeindrücke stattfindet und zwar im Sinne der zuerst von Schiff aufgestellten Hypothese, nach welcher die Tasteindrücke durch die Fasern der weissen Hinterstränge die Schmerzeindrücke durch die graue (ästhesodische) Substanz den betreffenden Empfindungsapparaten zugeleitet werden. Ob nun die Scheidung erst im Rückenmark beginnt, oder bereits diesseits desselben im peripherischen Theil der Tast- und Schmerzwerkzeuge vorhanden ist, lässt sich bis jetzt nicht entscheiden. Im ersteren Fall könnte man sich folgende Vorstellung machen. Eine und dieselbe Nervenfaser, welche von einem bestimmten Punkt der Haut entspringend, daselbst sowohl durch Tast- als durch Schmerzreize erregt werden kann, übergiebt, als hintere Wurzelfaser die graue Substanz des Rückenmarks betretend, ihre Erregungen zunächst einer Ganglienzelle, von welcher aus zwei Bahnen von verschiedenem Leitungswiderstand für die Fortpflanzung der Reizwellen sich abzweigen: eine von grossem Widerstand, d. i. diejenige, welche, zunächst wenigstens in der grauen Substanz verbleibend, zu den Schmerzempfindungsapparaten führt, eine zweite von geringerem Widerstand, welche alsbald in die weisse Substanz übertretend als Längsfaser eines Hinterstrangs zu den Tastempfindungsapparaten im Hirn führt. Dabei wäre leicht zu begreifen, dass die durch Tastreize erweckten schwachen Erregungen, ohne in die schlechtleitende Schmerzbahn einzubrechen, ungetheilt durch die Hinterstränge zu den Tastempfindungsapparaten abflössen, die starken durch Schmerzreize erzeugten Erregungen dagegen, an der Theilungsstation der Bahnen sich theilend, zu einem kleineren oder grösseren Bruchtheil unter Ueberwindung des grösseren Widerstandes in die andere Bahn eintretend zu den Schmerzempfindungsapparaten vordrängen. Es hat, beiläufig bemerkt, keine Schwierigkeiten, diese Vorstellung auch den Forderungen anzupassen, welche die Thatsachen der reflectorischen Thätigkeit des Rückenmarks an

seine Leitungsverhältnisse stellen, deren Erörterung uns jedoch zu weit vom Wege abführen würde. Im zweiten Fall, d. h. bei der Annahme einer von der Peripherie bis zum Centrum durchgehenden Scheidung des Tast- und Schmerzapparates, muss vorausgesetzt werden, dass in jedem discreten Empfindungskreis der Haut je zwei (oder wenn auch eine Sonderung des Druck- und Temperatursinnesapparats angenommen wird, je drei) Nervenfasern gesondert, jede wahrscheinlich mit anderer Endvorrichtung, entspringen, und isolirt zum Rückenmark verlaufend, jede für sich in die ihr zugehörige weitere Bahn einmünden. Allerdings liefert die anatomische Untersuchung der Haut vorläufig keine unzweideutige thatsächliche Bestätigung dieser Voraussetzung, aber noch weniger eine sichere Widerlegung. Mit grosser Wahrscheinlichkeit spricht zu Gunsten einer Scheidung des Hautnervenapparats in zwei functionell verschiedene Systeme der von den Histiologen allgemein angenommene Gegensatz mit freien Enden in den Epithelialüberzug der Haut hineinragender Nervenfasern und solcher, deren Enden mit besonderen Terminalapparaten, Tastzellen, Tastkörperchen, Endkolben, Pacini-schen Körperchen in Verbindung treten. Die weitere Deutung, dass erstere den durch die groben allgemeinen Reize zu erweckenden Schmerzempfindungen, letztere den durch die specifischen Tastreize hervorzurufenden Tastempfindungen dienen, ergiebt sich von selbst. Auf die Frage nach den functionellen Verschiedenheiten der verschiedenen Arten der zweiten Endigungsweise und einer eventuellen Sonderung des Nervenapparats für Druck- und Temperaturempfindungen kommen wir unten zurück.

Mit gleicher Bestimmtheit wie die Erscheinungen der Analgesie spricht für eine Sonderung der Tast- und Schmerzbahnen mindestens vom Rückenmark an eine sehr interessante neuere pathologische Beobachtung. Nachdem zuerst von Cruveilhier, später von Cyon, Topinard und Leyden[1] wiederholt bei Erkrankungen des Rückenmarks eine Verlangsamung der sensibeln Leitung im Allgemeinen oder der Schmerzleitung insbesondere beobachtet war, hat Osthoff[2] in drei Fällen von Tabes dorsalis eine constante erhebliche Verschiedenheit der Zeiten, in denen nach einem und demselben Reiz die zugehörige Tast- und Schmerzempfindung eintraten, nachgewiesen. Wurden den betreffenden Personen Nadelstiche applicirt, so trat dies Berührungsgefühl momentan mit dem Stich, die Schmerzempfindung aber 1—2″ später ein. Ein gleiches Verhalten hat kürzlich Bäumler in einem Fall constatirt. Osthoff, welcher die Differenzirung der beiden Leitungen erst in der grauen

1 Leyden, Klinik d. Rückenmarkskrankheiten.
2 Osthoff, Die Verlangsamung der Schmerzempfind. bei Tabes dorsalis. Diss. Erlangen 1874.

Substanz des Rückenmarks eintreten und auf der Schmerzensbahn einen grösseren Widerstand durch die grössere Anzahl der zu passirenden anastomosirenden Ganglienzellen bedingt sein lässt, sucht den Grund der Verzögerung der Schmerzleitung entweder in einer krankhaften Vermehrung dieser Widerstände in den Ganglienzellen, oder in einer durch degenerative Processe in der grauen Substanz herbeigeführten Nöthigung zu grösseren Umwegen für die Schmerzeindrücke. Beide Erklärungsmomente der Verzögerung lassen sich ebenso gut mit der Annahme einer schon an der Peripherie beginnenden Scheidung beider Wege vereinbaren.

Möglicherweise gehört hierher auch eine bekannte Erscheinung unter normalen Verhältnissen. Stösst man beim Gehen mit einer empfindlichen Zehe gegen einen Stein, so tritt der Schmerz regelmässig merklich später ein als die Tastempfindung, überdauert aber auch letztere unter nachträglicher Steigerung meist lange Zeit. Die wahrscheinlichste Erklärung ist auch hier die, dass die an der Peripherie momentan eintretende Erregung unterwegs auf einen Widerstand stösst, welchen sie erst durch Anstauung zu einer gewissen Höhe überwinden muss, um zu den Schmerzempfindungsapparaten zu gelangen. Die Ursache der Nachdauer des Schmerzes ist wohl in einem gewissen Beharrungsvermögen der in letzteren ausgelösten Veränderung, nicht in einer entsprechenden Verlängerung des Erregungszuflusses von der Peripherie her zu suchen.

Zu Gunsten der Identität des Tast- und Schmerzempfindungsapparats könnte man wohl noch anführen, dass auch in einer anderen Sinnessphäre und zwar derjenigen des Gesichtssinnes zwei Empfindungsarten, von denen die eine als ächte Sinnesempfindung zu der anderen als Gemeingefühl in demselben Verhältniss steht, wie eine Tastempfindung zur Schmerzempfindung, nach allgemeiner Annahme durch denselben Nervenapparat vermittelt werden, insofern man dieselben Opticusfasern bei mässiger Erregung Lichtempfindung, bei übermässiger Blendungsgefühl in demselben Empfindungsapparat auslösen lässt. Aber auch hier ist die Annahme der Identität nicht zweifellos erwiesen. Gegen dieselbe spricht die nicht selten beobachtete, zuerst von v. WALTER hervorgehobene Thatsache, dass Fälle von Amaurose vorkommen, in denen bei völligem Verlust des Lichtempfindungsvermögens das schmerzhafte Blendungsgefühl und die daraus entspringende Photophobie sogar in erhöhtem Maasse fortbestehen. Möglicherweise sind noch zwei andere Empfindungsarten, welche ebenfalls sich als Sinnesempfindung und Gemeingefühl gegenüberstehen, das sogenannte Muskelgefühl und der Ermüdungsschmerz der Muskeln, Effecte der Thätigkeit verschiedener nervöser Apparate.

Wenn aus den vorstehenden Betrachtungen sich ergiebt, dass ein zwingendes durchgreifendes Motiv für die übliche Zusammen-

reihung aller oben aufgezählten „Gefühle“ zu einem durch irgend welches wesentliches Gemeinmerkmal zusammengehaltenen Verband nicht sicher erwiesen ist, so ist anderseits eine Sichtung derselben in zwei durch ihre Entstehungsweise und ihre psychische Verwerthung wesentlich verschiedene, zuerst durch E. H. Weber scharf charakterisirte Gruppen, in ächte Sinnesempfindungen und sogenannte Gemeingefühle zweifellos begründet. Bekanntlich zählt man zu den Sinnesempfindungen nur diejenigen, welche von der Seele „objectivirt“, d. h. auf Dinge einer dem empfindenden Ich gegenübergestellten Aussenwelt bezogen werden, und zwar so unmittelbar, dass die Qualitäten der Empfindung selbst, wie z. B. die Farbe einer Lichtempfindung als Qualitäten der die Empfindung verursachenden Aussendinge aufgefasst werden. Als Gemeingefühle bezeichnet man dagegen diejenigen Empfindungen, welche von der Seele unter allen Umständen nur auf das empfindende Ich bezogen, lediglich als veränderte Zustände des Bewusstseins aufgefasst werden. Nach diesem Unterscheidungsprincip erweisen sich nur die Druck- und Temperaturempfindungen als Sinnesempfindungen, als Grundlagen des Tastsinnes, alle übrigen genannten Gefühle, obenan der Schmerz, als Gemeingefühle. Nur erstere werden unmittelbar objectivirt, mit unauflöslich gewordener Nothwendigkeit auf die das Tastorgan berührenden Aussendinge bezogen. Wird ein äusseres Object gegen unsere Haut bewegt, oder bewegen wir activ einen Theil des Tastorgans gegen ein solches, so steht nicht allein unmittelbar mit der eintretenden Berührung, scheinbar als primärer Inhalt der Empfindung, vor dem Bewusstsein die Vorstellung eines Aussendinges als Empfindungsursache, sondern wir tragen sogar die Qualität der Empfindung, den empfundenen Druck, die empfundene Wärme oder Kälte als Eigenschaften auf dieses Object über, glauben, dass dieselben, in letzterem präexistirend, unverändert von demselben auf unser Sensorium überströmen. Selbst wenn wir durch Ueberlegung oder wissenschaftliche Belehrung die Ueberzeugung gewonnen, dass diese Uebertragung ein grober Irrthum, dass die von dem „warmen“ Körper auf unsere Haut übergehenden Wärmevibrationen an sich keine mit der überhaupt nicht definirbaren Qualität der Empfindungswärme irgend vergleichbare Eigenschaft haben, sind wir ausser Stande, uns von dem festgewurzelten Irrthum zu emancipiren, die subjective Empfindungsqualität von dem vorgestellten Object wieder loszulösen. Wir begehen diesen Irrthum sogar und zwar mit der gleichen Unverbesserlichkeit, wenn das Object ein Theil unseres eigenen Körpers ist, wenn wir mit einem Theil unseres Tastorgans einen

anderen mit gleicher Empfindlichkeit begabten Theil desselben berühren, und somit zwei vermöge des Raumsinnes auseinander zu haltende Tastempfindungen gleichzeitig dem Bewusstsein sich präsentiren. Es kann dann eine wechselseitige Objectivirung beider Theile stattfinden; bei absichtlichen Tastoperationen drängt sich im Bewusstsein die Objectivirung des betasteten Theils durch den activ tastenden in den Vordergrund. Es kann aber auch für die Bevorzugung der einen oder der anderen der beiden Doppelempfindungen ihre Qualität und Intensität bestimmend sein. Berührt ein Theil von gewöhnlicher Körpertemperatur eine ungewöhnlich abgekühlte Hautpartie, so dominirt das ungewöhnliche Kältegefühl; die kühlere Hautpartie erscheint als Object mit der empfundenen Kälte als Eigenschaft und es bedarf einer besonderen Anstrengung der Aufmerksamkeit, um umgekehrt die Auffassung der normal temperirten Partie als relativ warmes Object hervortreten zu lassen. Dass Druck- und Temperaturempfindungen, wie alle übrigen Sinnesempfindungen, gerade durch diese prompte, nicht erst durch eine bewusste psychische Operation vermittelte Objectivirung, durch diese fehlerhafte aber unfehlbare Verlegung der Empfindungsqualitäten in die vorgestellten Empfindungsobjecte den Anforderungen gerecht werden, welche ihnen im Dienste des Sinnes, der als eine Sonde in die Aussenwelt einzudringen bestimmt ist, gestellt werden, dass sie uns durch diese unmittelbare Objectivirung der Seele so prompte und innerhalb weiter Grenzen zuverlässige Belehrung über Zustände und Veränderungen der Aussendinge verschaffen, und sie dadurch in den Stand setzen, rasch und sicher auf die erkannten äusseren Verhältnisse zu reagiren, liegt auf der Hand.

Entsteht ein Gemeingefühl, wird z. B. durch Berührung der Haut mit einem sehr heissen Körper Schmerz erzeugt, oder derselbe durch krankhafte Zustände eines inneren Organs hervorgerufen, so bleibt derselbe unter allen Umständen subjectiv, wird von der Seele nur als ein veränderter Zustand des Bewusstseins aufgefasst. Wir kommen wohl auch unter Umständen zu der Erkenntniss eines äusseren Objectes als Ursache des Schmerzes, aber nicht durch eine unmittelbar mit diesem verschmolzene Vorstellung, sondern entweder durch die Beihülfe einer gleichzeitigen Tastempfindung oder auf anderweitigen Umwegen und niemals verlegen wir den Schmerz als Eigenschaft in das zufällig als Ursache erkannte Aussending, in den berührenden heissen Körper, wie wir dem warmen Körper die Empfindungswärme als Eigenschaft andichten. Wohl regt auch der Schmerz und andere Gemeingefühle die Seele zu Handlungen an,

ja derselbe löst sogar zwangsmässig, ohne Zuthun eines bewussten Willensactes, auf dem Wege des einfachen Reflexes gewisse Reactionen aus, welche den Charakter der Zweckmässigkeit in Betreff der Abwehr des schmerzhaften Eingriffs an sich tragen, allein es kann keine Rede davon sein, diesen durch Gemeingefühle angeregten beschränkten und einseitigen Verkehr unseres empfindenden Ichs mit der Aussenwelt in Parallele zu setzen mit den unmittelbaren vielseitigen, die Grundlage aller Willensthätigkeit bildenden Beziehungen unserer Seele zur Aussenwelt, welche auf die Sinnesempfindungen basirt sind.

Eine Frage von höchstem psychologischen wie physiologischen Interesse ist die nach den Ursachen und der Entstehung dieses wesentlichen Unterschiedes zwischen Sinnesempfindungen, in unserem Falle also zwischen Tastempfindungen und Gemeingefühlen. Wie kommen wir dazu, eine Druck- oder Temperaturempfindung auf ein äusseres Object zu beziehen? Was macht diese Beziehung zu einer unauflöslichen? Warum verlegen wir nicht auch den Schmerz, zumal wenn er von denselben Organen aus, wie jene, hervorgerufen wird, in die Aussenwelt? Ist die Objectivirung der erstgenannten Empfindungen ein angeborenes, in einer fertig gegebenen Einrichtung des Seelenapparates zwangsmässig begründetes Vermögen, oder ein auf Grund von Erfahrungen nach den Gesetzen des Denkens erworbenes? Welches sind in letzterem Fall die sicheren unvermeidlich jedem Individuum im Anfang des Lebens sich darbietenden Erfahrungswege, auf denen das Vermögen erworben und so befestigt wird, dass der Erfahrungsschluss scheinbar mit der Empfindung selbst zusammenschmilzt? Angeboren oder erworben, das ist dieselbe Alternative, welche in verschiedener Fassung, aber überall in fundamentaler Bedeutung der Sinnesphysiologie in verschiedenen Abschnitten ihres Gebietes entgegentritt, um deren Entscheidung neuerdings heftiger aber auch mit schärferen Waffen als zuvor der Kampf zweier extremen Theorien, welche als die nativistische und die empiristische bezeichnet werden, sich abspielt. Die Nativisten, deren eifrigster Vorkämpfer unter den Physiologen heutzutage E. Hering ist, fassen die bei allen Individuen mit gleicher Nothwendigkeit und Gesetzmässigkeit an die einfachen Empfindungen sich anschliessenden Vorstellungen durch welche dieselben sich zu Sinneswahrnehmungen gestalten, als physiologische, durch die Erregung des Sinnesnerven zwangsmässig mit der Empfindung ausgelösten Thätigkeitsäusserungen eines von Geburt an functionsfähigen Seelenmechanismus auf, dessen Leistungen höchstens noch durch individuelle Uebung

verfeinert werden und an Geläufigkeit gewinnen können, dessen Leistungsfähigkeit vielleicht durch successive Summirung des Gewinns der individuellen Uebung auf dem Wege der Vererbung erhöht worden ist. Die Empiristen dagegen, welchen heutzutage HELMHOLTZ als physiologischer Führer voranschreitet, betrachten die fraglichen Vorstellungen als individuellen psychischen Erwerb, welcher erst allmälig durch Anwendung des freien Denkvermögens der Seele auf einen Kreis unvermeidlich von den ersten Lebenstagen an sich darbietender auffälliger Erfahrungsthatsachen gewonnen wird, allerdings unter wesentlicher aber indirecter Mitwirkung gewisser angeborener physiologischer Einrichtungen. Es ist hier nicht der Ort zu einer allgemeinen kritisch-historischen Beleuchtung des Kampfes dieser beiden sich gegenüberstehenden Theorien in allen seinen Phasen. So unbestritten heutzutage die volle Competenz der Physiologie in dieser Frage feststeht, so erfordert doch ihre allgemeine Discussion eine gleichmässige Berücksichtigung verschiedener Sinnessphären und gehört daher in einen Artikel über Sinneswahrnehmungen überhaupt, oder physiologische Psychologie.[1] Während wir aber in unserem auf den Tastsinn beschränkten Gebiete ein näheres Eingehen auf den hauptsächlichen Angelpunkt des Streites bei der Erörterung des Raumsinnes der Haut nicht abweisen können, dürfen wir hier bei der Erklärung der Objectivirung der Tastempfindungen uns ohne Berücksichtigung der Gegner auf den empiristischen Standpunkt stellen. Ist auch wiederholt versucht worden, die Beziehung von Empfindungen auf Aussendinge als ein vor aller Erfahrung gegebenes („transcendentales" KANT) Vermögen darzustellen, hat unter den Physiologen sich z. B. MEISSNER noch neuerdings durch die Annahme seiner „einfachen Tastempfindung" auf den nativistischen Standpunkt gestellt, so stimmt doch jetzt zweifelsohne die grosse Mehrzahl aller Philosophen und Physiologen, darunter auch solche welche z. B. in Bezug auf die Raumanschauung am entschiedensten die nativistische Theorie vertreten, darin überein, dass die Erkenntniss des Gegensatzes zwischen empfindendem Ich und Aussenwelt oder einem „Ich" und einem „Nicht-Ich" (FICHTE) eine auf folgendem Erfahrungswege erworben ist.

Eine Grundbedingung der bezüglichen Erfahrung liegt in der activen willkürlichen Beweglichkeit unserer Tastorgane und der Be-

1 Wir verweisen auf die bezüglichen Erörterungen in LOTZE, Medicinische Psychologie. Leipzig 1852. WUNDT, Grundzüge der physiol. Psychologie. Leipzig 1874. HELMHOLTZ, Die Thatsachen in der Wahrnehmung. Rede geh. z. Stiftungsf. d. Berlin. Univ. Berlin 1879.

gleitung jeder activen Bewegung derselben durch eine specifische Empfindung, welche zunächst den bewegten Zustand überhaupt der Ruhe gegenüber dem Bewusstsein kennzeichnet in zweiter Instanz aber auch der Seele von Richtung und Grösse der ausgeführten Bewegungen Kunde giebt. Definiren und durch ihre eigenen Merkmale charakterisiren lassen sich diese Empfindungen so wenig, wie irgend welche andere, aber Jeder kennt aus Erfahrung die constante Veränderung seines Bewusstseins, welche sich mit jeder willkürlichen Lageveränderung seiner beweglichen Körpertheile durch Muskelthätigkeit, verknüpft und auch ohne die Controlle des Gesichtssinnes unmittelbar die räumliche Anschauung der Bewegung selbst und ihres Resultats, der neuen Lage der bewegten Theile, erzeugt. Gleichviel, ob diese Bewegungsempfindungen centralen Ursprungs, durch direct von den Erregungsstätten der motorischen Nerven durch den Willen ausgehende Einwirkungen auf das Sensorium bedingt sind, („Innervationsgefühle“), oder ob sie durch die den Willensbefehl vollziehenden Muskeln ausgelöste Controllezeichen des Vollzugs sind, durch eine bei der Contraction derselben entstehende peripherische Erregung sensibler Nerven zu Stande kommen, gleichviel, ob und wieweit ihnen von Geburt an räumliche Vorstellungen über die ausgeführte Bewegung anhaften, oder ob diese erst erlernte Auslegungen sind, für die Erklärung der Objectivirung der Tastempfindung genügt die unbestrittene Thatsache, dass sich jede Bewegung der Tastorgane dem Bewusstsein durch eine irgend wie beschaffene Empfindung markirt und diese Marke für eine bestimmte Bewegung immer die gleiche, für jede verschiedene Bewegung aber eine verschiedene ist. Ein zweites Moment, welches die Entstehung objectiver Vorstellungen vermittelt, ist die Begabung unserer Tastorgane mit dem unten näher zu erörternden Raumsinn, vermöge dessen wir den Ort an welchem dasselbe von einem Tastreiz getroffen wird, unterscheiden. Gleichviel, ob derselbe ein angeborenes Erbgut, oder ein erworbenes Vermögen, eine erlernte Interpretation an sich nichtssagender Zeichen in räumliche Vorstellungen ist, hier kommt wiederum nur die sichere Thatsache in Betracht, dass eine und dieselbe von dem gleichen Reiz erzeugte Druck- oder Temperaturempfindung von jedem verschiedenen Ort unserer Haut aus ein irgend wie verschiedenes Gepräge erhält. Die Erfahrungen, welche nun mit Hülfe dieser beiden Momente zur Objectivirung führen, können wir im Allgemeinen als die Erfahrungen von der Incongruenz der Tastempfindungen mit den Bewegungsempfindungen bezeichnen. Von den ersten Lebensstunden an führt das Kind, gleichviel durch welche Motive veran-

lasst, in regellosem Wechsel die verschiedensten Bewegungen aus. Jede derselben trägt in das Bewusstsein ihre specifische Marke ein; die Wiederkehr derselben Marken bei zunächst zufälliger Wiederholung derselben Bewegungen wird die Veranlassung, dass das Kind bestimmte Bewegungen absichtlich wiederholen lernt. Zu diesen Bewegungsempfindungen gesellen sich nun entweder Tastempfindungen verschiedener Art, Extensität und Intensität, oder keine, je nachdem durch die Bewegung ein Theil des Tastorgans mit einem äusseren Object in Berührung gebracht wird, oder nicht. In ersterem Fall variirt die Tastempfindung erstens mit den bei seiner Einwirkung auf die Tastorgane in Betracht kommenden Qualitäten des Objectes, seiner Grösse, Form, Schwere, Oberflächenbeschaffenheit, Cohäsion, Temperatur, zweitens mit dem gereizten Ort der Tastfläche. Andererseits entstehen auch Tastempfindungen der verschiedensten Art bei völliger Ruhe des Körpers, also völliger Abwesenheit aller Bewegungsempfindungen, sobald äussere Objecte verschiedener Qualität an einen oder den anderen Theil des Tastorgans heranbewegt, oder über eine Reihe aneinander grenzender Endbezirke von Tastnerven hinbewegt werden. Dieser Mangel aller gesetzmässigen Beziehungen zwischen Muskelgefühlen und Tastempfindungen, der regellose Wechsel zwischen Zusammentreffen und Nichtzusammentreffen der letzteren mit ersteren, und der regellose Wechsel der Beschaffenheit der letzteren und ihrer vom gereizten Ort der Haut abhängigen Marken bei gleichen Bewegungsgefühlen oder auch totalem Mangel derselben, drängt die mit angeborenem Denkvermögen begabte Seele nothwendig sehr bald zu dem Schluss, dass die Ursachen der wechselnden Tastempfindungen nicht dem empfindenden, durch eine bewusste Anstrengung die Bewegungsgefühle erzeugenden „Ich" angehören können, sondern ausserhalb desselben liegen müssen. Damit ist die Grundlage der Objectivirung gewonnen. Bei der unvermeidlichen Häufigkeit der Wiederkehr der betreffenden Erfahrungen ist es begreiflich, dass jener Schluss alsbald geläufig werdend, schliesslich sich unbewusst vollzieht und unauflöslich wird, begreiflich aber auch die weitere Folge, dass wir die Qualitäten der Tastempfindung auf die vorgestellten ursächlichen äusseren Objecte, welche ja ausschliesslich durch dieselben auf unsere Seele wirken, übertragen, und sie alsbald für einfache Abdrücke präexistirender Eigenschaften der Aussendinge halten. Ebenso ist ferner selbstverständlich, dass überhaupt unsere Vorstellung einer Aussenwelt, welche zunächst nur als einfache Negation, als „Nicht-Ich" zur Erkenntniss kommt, erst später und allmälig mit der durch absichtliche Versuche geförderten Erziehung der Sinne,

mit der Aufspeicherung des empirischen Wahrnehmungsmaterials, mit der Verfeinerung seiner Interpretation durch Denkprocesse, mit der erlernten Inbeziehungsetzung der Aussagen verschiedener Sinne zueinander mehr und mehr ausgearbeitet wird, bis sie endlich zu jenem unendlich reichhaltigen Complex zahlloser, mit allen denkbaren Empfindungsqualitäten ausgestatteter Einzelheiten von erkannten gesetzmässigen Beziehungen zu einander und zu unserem Ich, als welcher sie wirklich nach Absolvirung der angedeuteten Studien in unserer Anschauung sich darstellt, herangebildet ist.

Wie schon oben angedeutet wurde, lernen wir mit Hülfe der Doppelempfindungen, welche bei wechselseitiger Berührung verschiedener Theile des Tastorgans untereinander entstehen, von den absolut äusseren Dingen als relativ äussere eben diese uns selbst angehörigen Theile der Tastfläche unterscheiden. Auf diese Weise kommen wir dazu, die Haut als Erregungsstätte unserer Tastempfindungen zu erkennen, die letzteren zunächst in sie zu verlegen und gewissermaassen über diesen Zwischenpfeiler hinweg die Brücke der objectiven Vorstellungen in die Aussenwelt zu schlagen. Darauf beruht ein wesentlicher Unterschied des Tastsinns dem Gesichtssinn gegenüber. Weil wir nicht mit einem Theil der ebenfalls zu einer Fläche ausgebreiteten, ebenfalls mit Raumsinn begabten empfindlichen Nervenendausbreitung des Auges einen anderen Theil derselben betrachten, nicht der einen Netzhaut die andere als Object darbieten können, kommen wir nie dazu, unsere Lichtempfindungen zu ihr in Beziehung zu setzen, die Netzhaut als Station bei der Objectivirung der letzteren zu benutzen, sondern tragen diese unmittelbar in die Aussenwelt hinaus, selbst dann, wenn ein von einem Aussending ausgehender Lichtreiz gar nicht die Ursache der Empfindung ist, wenn wir wissend durch einen Druck unseres Fingers auf den Augapfel eine Lichterscheinung hervorrufen.

Während wir auf diese Weise mit der einen Hand die andere, mit der Zungenspitze die Zähne betasten und als relativ äussere Gegenstände wahrnehmen können, erhalten wir keine objectiven Vorstellungen bei zahlreichen regelmässig vor sich gehenden wechselseitigen Berührungen innerer Organe unseres Körpers, obwohl dieselben empfindlich sind, und die Bewegungen wenigstens einestheils derselben von Muskelgefühlen begleitet sind. Wir fühlen z. B. nicht wie E. H. Weber hervorhebt, den Magen als Berührungsobject, während das Zwerchfell bei seiner inspiratorischen Abflachung gegen denselben drückt, auch dann nicht, wenn wir durch verschiedene Grade willkürlicher, von entsprechenden verschiedenen Graden des

Muskelgefühls begleiteter Anstrengungen des Zwerchfells diesen Druck variiren. Das Ausbleiben objectiver Berührungsvorstellungen in diesem Fall hat einen doppelten Grund. Erstens fehlen dem Zwerchfell sowohl wie dem Magen von Haus aus Tasteinrichtungen, d. h., an den Enden ihrer sensiblen Nerven angebrachte, unten in ihrer Bedeutung näher zu würdigende Vorrichtungen, welche dieselben für so geringfügige Grade mechanischer Reizung, wie sie der bei den Bewegungen des Zwerchfells entstehende Druck darstellt, empfänglich macht, wahrscheinlich aber auch an den centralen Enden dieser Nerven specifische Empfindungsapparate, in welchen ihre Erregung die specifische Druckempfindung auslösen könnte. Es entsteht überhaupt keine dem Muskelgefühl parallel laufende Empfindung bei dieser Bewegung, oder nur indirect von den Tastnerven der Bauchhaut, welche mit dem Niedergang des Zwechfells eine wachsende Anspannung erleidet, vermittelte Empfindungen. Zwerchfell und Magen besitzen nur Nerven, welche durch die entsprechende Art von Reizen erregt, Schmerz hervorrufen können. Zweitens aber würden, selbst wenn die in Rede stehende Bewegung von Doppeldruckempfindungen begleitet wäre, wir doch nicht dazu kommen, den Magen als Tastobject des Zwerchfells oder umgekehrt aufzufassen, weil, wie E. H. WEBER sich ausdrückt, objective Vorstellungen nur da entstehen, „wo die eigene Bewegung unserer Organe oder die Bewegung der zu empfindenden Objecte eine hinreichend bemerkbare Abänderung der Empfindung hervorbringt." Hier würde eben dieselbe, durch das gleiche Bewegungsgefühl charakterisirte Bewegung des Zwerchfells unabänderlich von der in jeder Beziehung gleichen Druckempfindung gefolgt sein, letztere also als eine nothwendige subjective Begleiterscheinung des Anstrengungsgefühls dem Bewusstsein sich darstellen, der Seele jede Veranlassung fehlen, dieselbe auf eine von dem empfindenden Ich getrennte, äussere Ursache zu beziehen.

Ist nun aber die erörterte empiristische Theorie der Objectivirung die richtige, so kann man mit Recht die Frage stellen, ob nicht zu ihr in schroffem, ihre Geltung gefährdendem Widerspruch die Thatsache steht, dass wir die von unserer Haut aus hervorgerufenen Schmerzempfindungen nicht objectiviren. Man könnte meinen, dass für diese dieselben Erfahrungsbedingungen vorliegen, welche nach jener Theorie zur Objectivirung von Druck- und Temperaturempfindungen nothwendig führen: das regellos wechselnde Zusammentreffen oder Nichtzusammentreffen von Schmerzempfindungen mit bestimmten Bewegungsgefühlen, das Eintreten ersterer auch bei Abwesenheit der letzteren und endlich der ebenfalls in keiner Beziehung zu den Bewe-

gungsgefühlen stehende Wechsel der Marken, welche notorisch auch dem Schmerz je nach dem gereizten Ort der Haut aufgeprägt werden. Allein dieser Widerspruch lässt sich unseres Erachtens lösen, die Subjectivität der Hautschmerzempfindungen trotz der scheinbaren Objectivirungsbedingungen zwanglos erklären. Erstens sind die betreffenden Erfahrungen in Betreff des Schmerzes viel zu selten und zufällig, um die Seele zu Reflexionen der Art, wie sie bei den häufigen unvermeidlichen Tastempfindungen sich aufdrängen anzuregen. Zweitens sind, wie E. H. Weber betont, die Schmerzempfindungen so heftig, dass sie „das Begehrungsvermögen der Seele anregen, die ruhige Reflexion aber verhindern"; sie sind auch so unangenehm, dass sie nicht zu experimentellen Studien über ihre Abhängigkeit oder Nichtabhängigkeit von bestimmten durch bestimmte Bewegungsgefühle charakterisirten Bewegungen auffordern. Drittens ist die Qualität des von der Haut aus durch äussere Objecte erweckten Schmerzes dieselbe, wie die des in ihr durch innere Ursachen oder in inneren Organen erzeugten Schmerzes, bei welchem letzteren überhaupt alle Momente, welche die Objectivirung veranlassen könnten, fehlen. Endlich würde auch der Mangel genauer zeitlicher Congruenz zwischen Schmerzempfindung und Einwirkung des schmerzerregenden Objects, der Umstand, dass letztere von ersterer oft längere Zeit überdauert wird, die Sicherung des Schlusses auf äussere Objecte beeinträchtigen.

II. Tast- und Gemeingefühlsreize.

Eine weitere Charakteristik der Tastempfindungen als Sinnesempfindungen den Arten des Gemeingefühls gegenüber ist in ihrer Erregungsweise begründet. Druck- und Temperaturempfindungen werden wie alle übrigen Sinnesempfindungen, durch äussere Einwirkung erzeugt, welche nicht zu den unmittelbaren, jede Nervenfaser bei der Application auf irgend eine Stelle ihres Verlaufs erregenden Nervenreizen gehören, sondern zu solchen erst umgewandelt werden, nicht durch eine specifische Beschaffenheit der betreffenden Nervenfasern, sondern durch specifische, dem betreffenden Agens angepasste Hülfseinrichtungen, Sinnesapparate, an ihren peripherischen Enden. Wie die Schwingungen des Aethers, welche von der Netzhaut des Auges aus die Lichtempfindung hervorrufen, an sich keine Nervenfaser erregen, auch nicht die Opticusfaser, welche sie erwiesenermaassen in der Retina selbst wirkungslos durchsetzen, sondern lediglich durch die Vermittelung der Stäbchen und Zapfen in einen

Nervenreiz, aller Wahrscheinlichkeit nach einen chemischen, umgesetzt werden, so sind auch die Tastreize zwar nicht ihrem Wesen nach, wohl aber dem Grade nach specifische. Druckempfindungen werden durch Druck auf die Haut, Temperaturempfindungen durch Wärmeentziehung oder -zufuhr zur Haut (E. H. WEBER) oder durch Herstellung von Eigentemperaturen der Haut, welche über oder unter einer gewissen Nullpunktstemperatur liegen (E. HERING), erzeugt. Während nun Druckeinwirkungen ihrem Wesen nach in die Classe der allgemeinen mechanischen Nervenreize, Temperatureinwirkungen zu den thermischen Reizen gehören, sind doch die als normale Tastreize wirksamen niederen Grade beiderlei Einwirkungen unwirksam bei ihrer directen Application auf irgend welche Nervenfaser, auch die Tastnervenfaser, im Verlauf, während diejenigen Druck- und Temperaturgrade, welche unmittelbare Reize für alle Nerven sind, auf die Haut wirken, das Gemeingefühl des Schmerzes erwecken. So entsteht eine deutliche Kälteempfindung, wenn wir unsere Hand in Wasser von + 10° C. eintauchen, und wenn wir sie unmittelbar darauf in Wasser von + 20° überführen, zunächst eine Wärmeempfindung, welche aber bald in Kältegefühl sich verwandelt, während der blosgelegte motorische Nerv erst bei Temperaturen unter 0 und über 44° durch Muskelzuckungen Erregung beurkundet. Ebenso bleibt letzterer in Ruhe, wenn wir durch so geringe Belastungen, wie sie auf die Haut angebracht, deutliche Druckempfindungen hervorbringen, einen Druck auf ihn ausüben. Auf der Stirnhaut genügt bereits ein Gewicht von 2 Milligramm, eine Tastempfindung hervorzurufen, während der Muskelnerv Belastungen von mehreren Grammen verträgt, ja bei allmäliger Steigerung des Druckes bis zur Zerquetschung comprimirt werden kann, ohne in Erregung zu gerathen. E. H. WEBER hat durch folgende Versuchsdata erwiesen, dass auch bei den Tastnerven nur die peripherischen Enden in der Haut, nicht die Fasern im Verlauf für jene minimalen mechanischen und thermischen Reize empfänglich sind. Injicirt man durch ein Klystier Wasser von + 6 bis 15° R. in den Darm, so entsteht nur am After durch die Reizung der daselbst befindlichen Hautnervenenden eine deutliche Kälteempfindung, vom Innern des Darmes aus erzeugt dasselbe Wasser aber kein Kältegefühl, obwohl es nothwendigerweise durch die dünne Darmwand hindurch den in den Stämmen des Lumbal- und Sacralnerven verlaufenden Tastfasern beträchtliche Mengen von Wärme entzieht. Das nach kalten Klystieren zuweilen nachträglich entstehende, in der Bauchwand localisirte Kältegefühl erklärt WEBER aus dem Vordringen der Wärmeentziehung bis zu den in

letzterer enthaltenen Nervenenden. Es müssen also diese Enden entweder eine wesentlich höhere Erregbarkeit, als ihre leitenden Fortsetzungen besitzen oder mit besonderen Hülfsvorrichtungen ausgerüstet sein, welche in irgend welcher Weise die Wirksamkeit der Reize erhöhen. Die Analogie der übrigen Sinnesorgane lässt das zweite Verhalten als das wahrscheinlichere betrachten. Am nächsten liegt die Analogie des Gehörorgans. Auch hier stellt der specifische Reiz, die Schallbewegung der ponderabeln Materie, einen mechanischen Vorgang dar, welchem es unter gewöhnlichen Verhältnissen, insbesondere bei seiner Fortpflanzung durch die Luft nur an der nöthigen Intensität gebricht, um eine Nervenfaser im Verlauf zu erregen, welcher dagegen für die Enden des Hörnerven durch die Vermittlung lebhaft mitschwingender mechanischer Tetanisirvorrichtungen wirksam gemacht wird. Wir werden unten bei Erörterung des Drucksinns die Frage näher erwägen, welcher Art die vorausgesetzten Sinneseinrichtungen an den Tastnervenenden sind und worin ihre die Erregung durch schwachen Druck vermittelnde Wirksamkeit besteht, ohne jedoch im Stande zu sein, eine befriedigende Antwort oder auch nur Vermuthung auszusprechen. Ebensowenig besitzen wir eine solche auf die gleichlautende Frage in Betreff der Wirksammachung der Temperaturreize. E. H. Weber hat ferner durch Experimente zu beweisen gesucht, dass, wenn eine Tastnervenfaser nicht von den Enden aus, sondern durch einen sie im Verlauf treffenden Reiz erregt wird, diese Erregung niemals eine der beiden specifischen Sinnesempfindungen, sondern ausnahmslos nur das Gemeingefühl des Schmerzes auslöst. Die Thatsachen sind folgende: Taucht man die Spitze des Elbogens in eiskaltes Wasser oder irgend eine Kältemischung, so entsteht zunächst durch Erregung der in der eingetauchten Haut befindlichen Nervenenden Kältegefühl, einige Zeit darauf aber, wenn die Kälte bis zu dem dicht unter der Haut verlaufenden Stamm des Ulnarnerven vorgedrungen ist, durch Reizung der in ihm zusammengebetteten sensibeln Fasern im Verlauf Schmerzempfindung, welche von der Seele in die Theile der Haut des Unterarms und der Hand, in welchen diese Fasern endigen, verlegt wird. Ebenso geht die Druckempfindung, welche bei Berührung der Elbogenhaut entsteht, in Schmerzempfindung, welche wiederum in den Endbezirk des Ulnarnerven localisirt wird, über, sobald der Druck auf die Haut so hoch gesteigert wird, dass der darunter verlaufende Nervenstamm gereizt wird. Sind durch heftige Verbrennung die äusseren Hautschichten eines Körpertheils mit den darin eingebetteten Nervenenden zerstört, so hat der betreffende Theil das Vermögen verloren, Wärme

und Kälte zu unterscheiden; warme Körper, welche von gesunder Haut aus deutliche Wärmeempfindung erzeugen, rufen von den verletzten Stellen aus Schmerz hervor. Während in letzteren also der Temperatursinn verloren gegangen war, scheint in den von Weber untersuchten Fällen das Vermögen, Druckempfindungen zu vermitteln, erhalten geblieben zu sein. Wenigstens geht aus Weber's Beschreibung hervor, dass die Patienten bei Berührung der Verbrennungsnarbe mit erwärmten oder abgekühlten Spateln, noch die Berührung mit einem fremden Körper wahrnahmen und nur nicht angeben konnten, ob er warm oder kalt sei. Die nähere Erklärung dieser Thatsachen ist nicht unzweideutig, die Zweifel hängen mit der Frage, ob und wieweit der nervöse Apparat für Tastempfindungen und Schmerzempfindungen identisch ist, zusammen. Existirt für beide nur ein durchweg gemeinschaftlicher Apparat, aus denselben Nervenfasern mit denselben centralen Empfindungsapparaten bestehend, dann bleibt nur eine Deutung möglich, welche auf die zuerst angeführten Thatsachen angewendet dahin lautet, dass die hohen Kälte- und Druckgrade, welche, durch die Elbogenhaut den Stamm der Ulnarnerven erreichend, die in ihm verlaufenden Tastnervenfasern reizen, eine andere Modification der Erregung in ihnen hervorbringen, als die von ihren Hautenden durch mässige Kälte- und Druckgrade erzeugte, und diese besondere Modification der Erregung auch eine besondere Modification des Effects in den Empfindungsapparaten, d. i. Schmerz, bedingt. Auf die Bedenken, welche sich gegen die dieser Deutung zu Grunde liegende Voraussetzung erheben, haben wir schon oben aufmerksam gemacht. Es ist eben durchaus unwahrscheinlich, dass die Art des Erregungsvorganges und damit die Qualität des Effects sich mit dem Ort, an welchem eine und dieselbe Nervenfaser gereizt wird, ändert. Es spricht für eine solche Annahme nicht eine einzige Analogie, wohl aber dagegen die Thatsache, dass die Sehnervenfasern im Opticusstamm durch allgemeine Reize erregt, wie dies bei Gelegenheit von Augenexstirpationen bei Durchschneidung desselben beobachtet wurde, dieselbe Empfindungsart, eine Lichterscheinung hervorrufen, wie bei der Reizung ihrer Enden in der Retina durch Lichtwellen oder auch durch Druck oder Elektricität. Am ungezwungensten erklären sich die in Rede stehenden Versuchsergebnisse, wenn wir die Existenz zweier völlig getrennter Nervenapparate für Tast- und Schmerzempfindungen voraussetzen. Wir müssten dann annehmen, dass die zu dem Ulnarnervenstamm vordringenden starken Kälte- oder Druckgrade sowohl die in ihm enthaltenen Tastfasern als die mit ihnen verlaufenden Gemeingefühlsfasern erregen, allein der von letz-

teren erzeugte Schmerz im Bewusstsein sich in den Vordergrund drängt, die gleichzeitigen Tastempfindungen übertäubt. Stellte sich die dritte oben angedeutete Möglichkeit, eine erst im Rückenmark beginnende Scheidung der sensiblen Leitungswege, als begründet heraus, so würde die Erklärung, um die es sich hier handelt, dahin lauten, dass die starken Erregungswellen, welche Kälte oder Druck vom Stamm des Ulnaris aus erwecken, im Rückenmark vorzugsweise oder ausschliesslich den Weg durch die graue Substanz zu den Schmerzempfindungsapparaten einschlagen. Eine bestimmte Entscheidung lässt sich zur Zeit nicht geben.

Gegen die allgemeine Gültigkeit des Satzes, dass Tastempfindungen durch die an sich nicht reizenden niederen Grade mechanischer und thermischer Einwirkungen, welche erst durch Sinnesapparate in Reize verwandelt werden müssen, Gemeingefühle dagegen nur durch die allgemeinen directen Nervenreize erzeugt werden, lässt sich die Thatsache einwenden, dass Kitzel-, Schauder- und Wollustgefühl gerade vorzugsweise durch die schwächsten Grade mechanischer oder auch thermischer Hautreize veranlasst werden. So entsteht bekanntlich bei der leisesten Berührung der Lippengegend oder des Eingangs der Nasenhöhle, z. B. bei Bestreichen derselben mit einer Federfahne lebhaftes Kitzelgefühl. Ebenso wird durch leise Berührung der Rückenhaut besonders mit mässig kalten Gegenständen Schaudergefühl hervorgerufen, durch schwache mechanische Reizung der Haut der Genitalien Wollustgefühl. Allein in allen diesen Fällen stehen die Gemeingefühle nicht wie die Tastempfindungen in einer directen sondern in einer indirecten Beziehung zu dem ursächlichen Reiz. Sie sind nicht, wie letztere unmittelbare Effecte einer von den gereizten Nervenenden direct zu centralen Empfindungsapparaten geleiteten Erregung, sondern secundäre Folgen der primär durch solche Erregungen ausgelösten Tastempfindungen, entstanden durch eine in den Centralorganen vor sich gehende Irradiation der Erregung von den primär in Thätigkeit gesetzten Tastempfindungsapparaten aus. Diese Auffassung stützt sich auf die Thatsachen, dass die fraglichen Gefühle neben gleichzeitigen Tastempfindungen entstehen, mit denselben aber nicht zeitlich zusammenfallen, sondern erstens merklich später als diese, oft erst, nachdem der Reiz vorüber ist, eintreten und zweitens letztere verschieden lange Zeit überdauern, ferner dass dieselben, insbesondere der Schauder, sich in der Regel allmählich mehr weniger weit auf Hautpartien, welche von dem Reiz gar nicht getroffen worden sind, ausbreiten also successive Empfindungsapparate angreifen, deren peripherischer Leitungsapparat gar

nicht in Thätigkeit gesetzt worden ist. Ferner spricht gewichtig für die secundäre Entstehung, dass solche Gefühle auch als Begleiterscheinungen im Gefolge gewisser anderen Sinnessphären angehöriger Empfindungen auftreten. So entsteht bei vielen Personen ein lebhaftes in der Haut localisirtes, oft die ganze Körperoberfläche überrieselndes Schaudergefühl in Begleitung hoher schriller Gehörseindrücke, wie sie z. B. beim Kratzen eines Messers auf dem Teller oder eines Schieferstiftes auf der Tafel hervorgerufen werden, oder auch in Begleitung intensiver saurer Geschmackseindrücke; ja bei Manchen vermag schon die Vorstellung solcher Eindrücke Schaudergefühl zu erwecken. In allen diesen Fällen kann von einer directen Reizung von Nervenfasern, welche die Hautpartien, in denen das Gefühl localisirt wird, mit den betreffenden Empfindungsapparaten verbinden, keine Rede sein, bleibt also keine andere Erklärung, als durch centrale Ausstrahlung einer Erregung von den Gehörs- oder Geschmacksempfindungsapparaten aus auf die das Gemeingefühl vermittelnden. Endlich spricht zu Gunsten der in Rede stehenden Auffassung der Umstand, dass neben Kitzel und Schauder bei schwacher mechanischer oder thermischer Reizung der Haut noch andere unzweifelhafte Zeichen centraler Irradiation in Form von Reflexerscheinungen auftreten, so die unwillkürlichen und durch den Willen schwer zu hemmenden Muskelzuckungen bei leiser Berührung „kitzlicher" Hautstellen, das Niesen auf Reizung der Nasenschleimhaut, die Schüttelbewegungen und die Contractionen der Muskeln der Haarbälge, welche das Schaudergefühl begleiten. Wie es kommt, dass gerade die schwachen Reizungen des Tastnervenapparats diese centralen Ausstrahlungen herbeiführen, während die Wirkung eines stärkeren Drucks auf dieselbe Hautstelle, deren leise Berührung Kitzel oder Schauder erzeugt, sich auf die primäre Tastempfindung und die an diese ankrystallisirenden Vorstellungen beschränkt, ist eine vorläufig nicht zu beantwortende Frage.

III. Weitere Unterschiede zwischen Tastempfindungen und Gemeingefühlen.

Schliesslich heben wir noch einen praktisch sehr bedeutsamen Unterschied zwischen Tastempfindungen und Gemeingefühl hervor. Während bei ersteren die Intensität der Empfindung in einer verhältnissmässig feingliedrigen Scala merklicher Abstufungen, nach einem bestimmten Gesetz mit der Verstärkung des Reizes zunimmt, während ferner die Dauer der ersteren in strengster Weise durch

die Dauer der reizenden Einwirkung bestimmt wird, treffen wir in beiden Beziehungen eine weit geringere Feinheit und grössere Unregelmässigkeit bei den Gemeingefühlen. Während, wie wir sehen werden, trotz der Unentschiedenheit des Kampfes, welcher sich neuerdings um die specielle Gestalt der Curve, welche die Intensität der Druckempfindungen als Function der Reizgrössen darstellt, erhoben hat, thatsächlich die Feinheit unseres Drucksinnes so gross ist, dass wir innerhalb weiter Grenzen annähernd genau Belehrungen über die absoluten und relativen Grössen der objectiven Druckeinwirkungen auf unser Tastorgan erhalten, sind wir nie im Stand, aus der Intensität der Schmerzempfindungen uns entsprechend genaue und zuverlässige Urtheile über die Stärke der erregenden Ursachen zu bilden. Es wächst im Allgemeinen wohl auch die Stärke des Schmerzes mit der Reizgrösse, allein erstens ist, sobald erstere einen bestimmten Werth erreicht hat, eine Proportionalität des Wachsens beider nicht mehr nachweisbar, und zweitens ist überhaupt das Auffassungsvermögen der Scala für verschiedene Grade der Schmerzempfindung von Haus aus weit stumpfer und durch Uebung bei weitem weniger verfeinert, wie für verschiedene Grade der Druckempfindung. Dazu kommt noch, dass die Empfänglichkeit für verschiedene Grade der schmerzerregenden Einwirkungen in viel weiteren Grenzen und weit unregelmässiger schwankt als die Empfänglichkeit für Tasteindrücke, und zwar ebensowohl, soweit dieselbe in der Reizbarkeit der peripherischen Nervenapparate bedingt ist, — man denke an die enorm gesteigerte Schmerzempfindlichkeit entzündeter Theile —, als soweit sie von der Receptivität der centralen Empfindungsapparate und den veränderlichen Widerständen der Leitungsbahnen abhängt. Analoge Unterschiede zu Ungunsten der Schmerzempfindungen stellen sich in Betreff der zeitlichen Beziehungen beider Empfindungsarten zum Reiz heraus. Während die Tastempfindung in allen Breiten der Intensität mit gleicher Promptheit in einem für die unmittelbare Wahrnehmung verschwindenden Zeitintervall nach Beginn der Reizung eintritt, und ebenso die letztere nur um unmerkliche, in engsten Grenzen schwankende Zeittheilchen überdauert, liegt zwischen schmerzerregender Einwirkung und Beginn des Schmerzes oft ein über mehrere Secunden ausgedehntes Intervall, und umfasst die Nachdauer des Schmerzes oft ausserordentlich lange Zeiträume. In Betreff des verspäteten Eintritts des Schmerzes verweisen wir auf die sorgfältigen Versuche E. H. Weber's, nach denen beim Eintauchen des Fingers in heisses Wasser das Intervall zwischen dem Moment des Eintauchens und dem Beginn des Schmerzes, d. h. dem Uebergang der Wärmeempfin-

dung in Schmerz, um so grösser ausfiel, je niedriger die Temperatur des Wassers. So betrug das Intervall bei einer Wärme des Wassers von 70° R. 1½—2″, bei 55° 4″, bei 48° 12″, bei 44° sogar 28″. Wir verweisen ferner auf die bereits oben (S. 299) angeführten Thatsachen einer unter krankhaften, aber auch normalen Verhältnissen zu beobachtenden Schmerzverspätung und deren mögliche Erklärungsmomente. Für die lange Ueberdauer des Schmerzes sprechen zahlreiche bekannte Facta der täglichen Erfahrung, z. B. die anhaltenden Verbrennungsschmerzen nach momentaner Berührung sehr heisser Körper. Diese lange Dauer beruht indessen in der Mehrzahl der Fälle doch auf einer fortdauernden peripherischen Reizung durch secundäre Veränderungen, welche der ursprüngliche Reiz in dem die Nervenenden umgebenden Hautgewebe hervorgerufen. Theilweise erklärt sich dieselbe aber auch aus einem schon früher erwähnten gewissen Beharrungsvermögen der die Schmerzempfindung vermittelnden Centralapparate. Während demnach die Tastempfindungen auch über die zeitlichen Verhältnisse der äusseren Vorgänge, welche sie hervorrufen und auf welche sie unmittelbar bezogen werden, der Seele zuverlässige Belehrungen verschaffen und so ihrer Aufgabe als Sinnesempfindungen gerecht werden, können die subjectiven Gemeingefühle nicht einmal mittelbar der Seele zu richtigen Urtheilen über die zeitlichen Verhältnisse ihrer objectiven Ursachen verhelfen.

ZWEITES CAPITEL.

Der Drucksinn.

I. Drucksinn und Verschiedenheit des Apparates für Druck- und Temperatursinn.

Die Grundlage des Drucksinnes bildet eine specifische Art von Empfindungen, welche wir nach der Art ihrer erregenden Ursachen als Druckempfindungen bezeichnen, ohne durch diese Bezeichnung irgend etwas über das Wesen der Empfindungen auszusagen, ohne überhaupt dieses Wesen durch irgend ein der Empfindung selbst entlehntes Merkmal definiren zu können. Eine Druckempfindung entsteht, sobald die oberflächlichen, die Nervenendigungen enthaltenden Theile der Haut in gewissem Grade comprimirt oder auch ex-

pandirt werden, sobald also entweder ein äusseres Object gegen einen Theil der ruhenden Tastfläche heranbewegt wird, oder eine bewegte Tastfläche auf ein äusseres Object trifft, wobei in beiden Fällen der Widerstand, welchen der ruhende Theil der Weiterbewegung des Bewegten nach erfolgter Berührung entgegensetzt, die Ursache einer Compression der Haut wird, oder auch sobald von aussen her auf irgend einen Theil der Tastfläche ein Zug ausgeübt, mithin eine Dehnung derselben hervorgerufen wird. Die Grade der Compression und Expansion, welche die verschiedenen Grade der Druckempfindung erzeugen, liegen zu einem grossen Theil mindestens, unzweifelhaft unterhalb der Grenzwerthe mechanischer Einwirkungen, welche eine Nervenfaser bei directer Application in ihrem Verlauf in Erregung zu versetzen vermögen. Sie erhalten dadurch die Bedeutung specifischer Sinnesreize und es liegt uns vor allen Dingen ob, die Art und die Wirkungsweise der specifischen Hülfsvorrichtungen an den Enden der dem Drucksinn dienenden Nervenfasern, welche ihre Umgestaltung zu Reizen vermitteln, festzustellen.

Diese Untersuchung führt uns nothwendig auf eine allgemeine bereits im Eingang des Artikels aufgeworfene Frage, welcher wir hier eine nähere Erörterung widmen müssen. Da bei jeder Berührung eines äusseren Objects, sobald dasselbe die Eigentemperatur der Haut ändert, von denselben Theilen der letzteren, deren Compression die Druckempfindung erzeugt, eine zweite Empfindungsart, eine Temperaturempfindung, welche in der Regel deutlich geschieden neben der Druckempfindung vor das Bewusstsein tritt, hervorgerufen wird, müssen wir zu entscheiden suchen, ob es dieselben oder verschiedene Sinnesapparate sind, welche die beiden Empfindungsarten vermitteln, und im Fall ersteres erweislich wäre, worauf die Verschiedenheit des Effectes je nach der mechanischen oder thermischen Ansprache des gemeinschaftlichen Apparats beruht.

Eine unbefangene subjective Beurtheilung ausgeprägter Druck- und Temperaturempfindungen würde für sich gewiss niemals Veranlassung gegeben haben, die Möglichkeit zu erwägen, ob sie nicht als Leistungsmodificationen eines identischen Sinnesapparates zu erklären seien. Beide erscheinen gerade so different, so unvergleichbar, und demnach als verschiedene Empfindungsmodalitäten, wie Licht- und Schallempfindungen. Was immer und immer wieder jene Erwägung, herausgefordert und eine bejahende Beantwortung derselben sogar als wahrscheinlich hat erscheinen lassen, war in erster Reihe der durchaus negative Ausfall aller anatomischen Bestrebungen, einen Doppelapparat nachzuweisen und erst in zweiter Reihe gewisse, wie

wir sehen werden nicht ganz unzweideutige Ergebnisse subtilerer physiologischer Experimente über die Beziehungen beider Empfindungsarten zu einander. Da beide, gleichzeitig oder getrennt, von jedem beliebigen kleinsten Hauttheilchen aus hervorgerufen werden können, gehört, wie bereits ausgesprochen wurde, zur vollen Berechtigung der Scheidung in zwei Sinne der Nachweis, dass von jedem Hauttheilchen je zwei isolirt zum Hirn laufende Nervenfasern mit gesonderten Enden entspringen, von denen das eine eine specifische Endvorrichtung für die thermische, das andere für die mechanische Reizung trägt. Dieser Nachweis ist allerdings bis heute durchaus nicht geführt, aber auch keineswegs ein sicherer Gegenbeweis erbracht.

Da die Erörterung anatomischer und histiologischer Details nicht im Plane dieses Handbuchs liegt oder nur soweit zulässig ist, als sie zum Verständniss oder zur Sicherstellung physiologischer Lehren unentbehrlich sind, müssen wir uns unter Hinweis auf die neuere histiologische Literatur auf wenige allgemeine Anmerkungen beschränken. Der von der Anatomie als sicher angenommene Gegensatz freier und mit Terminalapparaten verbundener Nervenenden in der Haut kann kaum eine andere Deutung als die oben ausgesprochene, dass erstere dem Gemeingefühl, letztere den Tastempfindungen dienen, erfahren. Die Annahme, dass die einen für die Perception der Drucke, die anderen (nach FR. MERKEL die freien Enden) für die der Temperaturreize bestimmt seien, ist durchaus nicht zu rechtfertigen, da wir für beide Reize nothwendig die Vermittelung von Hülfsvorrichtungen in gleicher Weise in Anspruch nehmen müssen. Die Terminalapparate selbst zeigen nun zwar trotz der mehr und mehr sich herausstellenden Einheitlichkeit gewisser Grundprincipien ihrer Structur gewisse, zum Theil recht auffallende Verschiedenheiten, aber keine, welche mit einiger Wahrscheinlichkeit zu Gunsten einer Scheidung in Druck- und Temperatursinnsapparate sich auslegen lassen, und noch für keinen der Apparate hat sich aus seiner Structur eine zweifellose functionelle Beziehung zu einem oder dem anderen der beiden Sinnesreize ableiten lassen. Alle in letzterer Beziehung gemachten Versuche sind als verfehlte zu bezeichnen, z. B. der schon vom physikalischen Standpunkt aus äusserst bedenkliche Versuch KRAUSE's [1], aus der Structur der PACINI'schen Körperchen den Beweis zu führen, dass sie bestimmt seien, „äussere mechanische Einwirkungen in einen nach dem Inneren des Körperchens hin successiv wachsenden Druck umzusetzen“, demnach zum Drucksinn in Beziehung stehen. Selbstverständlich können alle diejenigen Differenzen der Terminalapparate für unsere Frage gar nicht in Betracht kommen, welche nur localer Art sind, da die gleichmässige Verbreitung beider Sinne über die ganze Haut einen entsprechend gleichmässigen Dualismus ihrer Werkzeuge an jedem Ort derselben erheischt. Es können daher weder Tastkörperchen noch PA-

1 W. KRAUSE, Ztschr. f. rat. Med. (3) XVII. S. 278.

cini'sche Körperchen etwa den Endkolben, oder einfachen Tastzellen gegenüber als die specifischen Apparate des einen oder des anderen Sinnes in Anspruch genommen werden. Gerade für diese auffallenden Differenzen rechtfertigen die neueren Untersuchungen mehr und mehr eine andere sehr einfache Deutung; die complicirteren Formen scheinen den einfachen gegenüber nur die Aufgabe von Multiplicatoren derselben Wirkung zu haben. So haben z. B. die Tastkörperchen ihre anscheinende Specificität verloren, seitdem sich besonders durch die Untersuchungen von Fr. Merkel u. a. herausgestellt hat, dass sie nichts als Aggregate über die ganze Haut verbreiteter Elementargebilde, der sogenannten Tastzellen sind, welche da an die Stelle der letzteren treten, wo eine feine Tastempfindlichkeit trotz ungünstiger Verhältnisse für die Zuleitung des Reizes (dicke Epidermis, oder hornige Beschaffenheit ihrer Elemente) hergestellt werden soll. Die einen sind mehrfache, über einander geschichtete, die anderen isolirte Zellen gleicher Art, welche zu den Nervenenden in die gleiche anatomische Beziehung treten, sei es nun, dass letztere in das Protoplasma der Zellen übergehen (Merkel, Frey) oder sich zu Endplatten ausbreiten, welchen die Zellen nur anliegen (A. Key und Retzius, Ranvier).[1] Ob diese Zellen dem Druck- oder Temperatursinn dienen, lässt sich aus ihrer Structur nicht entziffern, obwohl ihr Vorkommen z. B. in der Wachshaut des Entenschnabels entschieden der ersteren Function das Wort spricht. Vielleicht sind auch die von Th. Eimer[2] in der Haut der Maulwurfsschnauze beschriebenen Tastkegel solche Complexe zahlreicher Tastzellen; vielleicht endigen auch die Nervenfasern, welche nach Schöbl[3] die von ihm in der Flughaut der Fledermäuse beschriebenen Terminalkörperchen umspinnen, in den Zellen, die deren Kern zusammensetzen, wie anderwärts in den Tastzellen. Wahrscheinlich sind es auch gewissermaassen nur quantitative durch locale Verhältnisse bedingte Differenzen, welche die Pacini'schen Körperchen und die einfachen Endkolben unterscheiden.

Wenn demnach die Histiologie vorläufig der Annahme eines doppelten Sinnesapparates in der Haut nicht den mindesten Vorschub leistet, so begründen ihre negativen Ergebnisse doch auch keine sichere Widerlegung derselben. Es sind möglicherweise sehr geringfügige nicht in die Augen fallende Differenzen der Vorrichtungen, welche ein Nervenende einerseits für die den Druck fortpflanzenden Bewegungen der Hauttheilchen, andererseits für die Wärmebewegungen in der Haut empfänglich machen, Differenzen, welche sich ebenso noch der Beobachtung entziehen, wie die mit absoluter Sicherheit zu postulirenden Differenzen der centralen Ganglienzellen, welche die einen zu Entladungsapparaten der Willenskraft, die anderen zu Empfindungsapparaten, die einen zu Licht-, die anderen zu Tonempfindungsapparaten machen. Finden wir doch auch in

1 Vergl. Fr. Merkel, Arch. f. microscop. Anat. XI. S. 636. 1875, ebendas. XV. S. 415. 1878; Frey, Handb. d. Histol. u. Histochem. 5. Aufl. Leipzig 1878; Asper, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1876. S. 145; A. Key u. Retzius, Stud. in d. Anat. d. Nervensyst. 2. Hälfte. Stockholm 1876; Ranvier, Compt rend. 1877. 26. Nov., Centralbl. f. d. med. Wiss. 1878. S. 353.

2 Th. Eimer, Arch. f. microscop. Anat. VII. S. 181. 1871.

3 J. Schöbl, ebendas. S. 1.

anderen Sinnessphären trotz anscheinend grosser Verschiedenheit der betreffenden Sinnesreize eine so weitgehende Uebereinstimmung der wesentlichen Verhältnisse der peripherischen Nervenendigung, dass wir die Histiologie vergeblich nach den Momenten fragen, welche den einen Endapparat für Schallbewegungen, den anderen für Riech- oder Geschmacksreize prädestiniren. Es ist ebensogut denkbar, dass wir später einmal zwei Arten von Tastzellen, eine für Druck- und eine für Wärmereize eingerichtet, unterscheiden lernen, als dass das Mikroskop einmal an einem Theil der bisher für frei gehaltenen Nervenenden specifische Wärmeperceptionseinrichtungen entdeckt.

Von physiologischer Seite hat zuerst E. H. Weber für die Gemeinschaftlichkeit des Druck- und Temperatursinnesapparates gewisse von ihm beobachtete Interferenzerscheinungen beider Empfindungsapparate geltend gemacht. Er beobachtete, dass kalte auf der Haut ruhende Körper uns schwerer, warme leichter, als sie sollten, erscheinen, dass demnach „die Empfindung der Kälte sich mit der Empfindung des Drucks zu summiren scheine, während die der Wärme sich nicht summire, vielleicht sogar wie ein negativer Druck wirke und also die gleichzeitige Empfindung des Drucks vermindere.“ Unbefangene Personen, denen man bei unterstütztem Kopf (zur Ausschliessung des Muskelsinnes) abwechselnd einen auf — 4 bis 7° C. abgekühlten oder zwei übereinandergeschichtete auf + 37 bis 38° C. erwärmte Thaler auf die Stirnhaut legt, halten in der Regel beide Gewichte für gleich schwer, oder sogar den einen kalten Thaler für schwerer als die zwei warmen. Später hat Szabadföldi[1] eine Umkehr dieser Interferenz bei relativ hohen Temperaturen aus der Beobachtung erschlossen, dass eine kleine auf 50° C. und darüber erwärmte Holzscheibe für schwerer taxirt werde, als eine grössere nicht erwärmte Scheibe beim Auflegen auf dieselbe Hautstelle. Es fragt sich: sind diese Thatsachen wirklich beweisend für die Identität des Druck- und Temperatursinnesapparats? Meines Erachtens durchaus nicht; ihre Auslegung in diesem Sinne stösst vielmehr auf sehr gewichtige Bedenken. Man müsste sich vorstellen, dass bei gleichzeitiger Einwirkung von Temperatur- und Druckreizen auf den einheitlichen Nervenapparat gewissermaassen eine Mischerregung in den leitenden Nervenfasern hervorgerufen würde, welche im Hirn irgendwie in zwei Componenten, die eine Druck- und eine Temperaturempfindung vermittelten, zerlegt würde, und dass bei vereinter Einwirkung eines bestimmten Druckes mit sehr niedrigen oder sehr hohen Temperaturen diese resultirende Erregung der Art wäre, dass die eine Componente, die

1 Szabadföldi, Molesch. Unters. IX. S. 631. 1865.

Druckempfindung zu hoch, höher als bei mittleren Temperaturreizen, ausfiele. Diese Erhöhung der einen Componente würde aber nicht auf Kosten der anderen erfolgen, da im Weber'schen Versuch nicht etwa die Kälteempfindung um so viel zu gering ausfällt, als die Druckempfindung wächst. Welche plausible Vorstellung könnte man sich von dem Hergang dieser verwickelten Superposition der Erregungen oder noch mehr von ihrer Zerlegung durch die Empfindungsapparate machen? Auf welche Thatsache oder welche Analogie könnte man sich stützen? Man kann sich wohl denken, und Analogien dafür aufführen, dass bei gleichzeitiger Einwirkung zweier Reize auf eine Nervenfaser eine Summirung der Wirkung eintritt, aber schwerlich erklären, warum eine solche Verstärkung der Erregung nur dem einen der beiden Effecte, in welche dieselbe angeblich aufgelöst wird, zu Gute käme. Um zu zeigen, wie wenig glaubhaft überhaupt die Umsetzung einer einheitlichen Nervenerregung in eine im Bewusstsein deutlich geschiedene Doppelempfindung, erinnern wir nur daran, dass wir in anderen Sinnessphären sogar die zusammengesetzten Empfindungen, welche bei gesonderter Auslösung ihrer Componenten durch gesonderte Nervenleitungen entstehen, schwer oder nicht in ihre Componenten zu scheiden vermögen, dass wir sehr schwer und unvollkommen eine Klangempfindung in die Partialtöne zu sondern lernen, dass wir bei gleichzeitiger Reizung der Netzhaut durch verschiedene Lichtwellenarten trotz der Sonderung ihrer Einwirkungen durch die differenten Young'schen Fasern oder Hering'schen Sehsubstanzen eine Mischempfindung erhalten, die wir nicht in die Einzelfarben aufzulösen im Stande sind. Meines Erachtens lassen sich die in Rede stehenden Interferenzerscheinungen weit einfacher mit der Annahme eines getrennten Apparats für beide Sinne vereinbaren. Entweder kann man an eine Täuschung des Urtheils, an eine irrige Taxirung der Empfindungsgrössen bei der Beschäftigung der Aufmerksamkeit durch zwei gleichzeitige Empfindungen denken. Oder es ist möglich, dass jene Temperaturgrade, bei welchen die Erscheinung auftritt, erhöhend auf die Perceptionsfähigkeit der Drucksinnesapparate in der Haut wirken, und somit einen Zuwachs in der erregenden Wirkung eines bestimmten Druckgrades erzielen. Eine sichere Entscheidung lässt sich vorläufig nicht gewinnen.

Nicht viel besser steht es meines Erachtens mit der Sicherheit der von Wunderli[1] versuchten Beweisführung für die Identität des

1 Wunderli, Experim. Beitr. z. Phys. d. Tastsinnes. Dissert. Zürich 1860 und Molesch. Unters. VII. S. 393. 1860.

Druck- und Temperatursinnesapparates. Wunderli hat experimentell dargethan, dass unter gewissen Verhältnissen die durch schwache Druck- oder Temperatureinwirkungen erzeugten Empfindungen nicht mit Sicherheit unterschieden, ja geradezu verwechselt werden können. Er schliesst daraus, dass beide Empfindungen überhaupt nicht specifisch von einander verschieden seien, folglich durch den nämlichen Nervenapparat vermittelt werden, und dass ihre Differenzirung, wo sie eintrete, nicht auf wesentlichen Differenzen ihrer Qualität, sondern auf nebensächlichen Momenten, welche er hypothetisch näher zu bezeichnen sucht, beruhe.

Die Thatsachen sind folgende: Wunderli bedeckte bei unbefangenen Personen, denen die Augen verbunden waren, in verschiedenen Regionen des Körpers die Haut mit einem Papierblättchen, in welchem sich eine kleine quadratische Oeffnung befand. Die durch diese Oeffnung freigelassene Hautpartie wurde in beliebiger Abwechselung durch leise Berührung mit Baumwolle oder durch Annäherung eines erwärmten Metallstäbchens gereizt; bei jeder Reizung mussten die Personen angeben, ob sie eine Berührungs- oder Wärmeempfindung wahrnahmen. Es stellte sich heraus, dass, wenn die Versuche an der Haut der Handvola oder des Gesichts angestellt wurden, niemals eine Täuschung über die Art der Reizung vorkam, dass dagegen bereits bei Versuchen am Handrücken zuweilen, bei Versuchen an der Rückenhaut sehr häufig Verwechselungen eintraten.

Ich kann in diesen Thatsachen eine Berechtigung zu dem von Wunderli gezogenen Schluss nicht finden. Sie beweisen meines Erachtens nur, dass es für Druckempfindung sowohl als für Temperaturempfindung einen unteren Grenzwerth der Intensität, eine Schwelle, giebt, unterhalb welcher eine deutliche Ausprägung der Modalität im Bewusstsein wegfällt. Da nun auch diese undeutlichen Empfindungen das zu ihrer Localisirung führende Gepräge erhalten, diese „Localzeichen“ (s. unten) aber erfahrungsgemäss ausnahmslos in Begleitung der einen oder der anderen der beiden Empfindungsarten auftreten, ist die Möglichkeit einer Verwechselung begreiflich. Dass letztere leicht an der Rückenhaut wie an der Handvola eintritt, erklärt sich aus dem grösseren Reichthum der letzteren an Nervenenden. Da, wie wir zeigen werden, mit der Zahl der von einem bestimmten Reiz erregten Nervenfasern durch Summirung die Intensität der Empfindung wächst, erreicht letztere an der Handvola bereits bei Reizung sehr kleiner Hautpartien den zur Ueberschreitung der bezeichneten Schwelle erforderlichen Werth. Aehnliche Verwechselungen kommen vielleicht noch anderweitig vor. Es ist mir z. B. nach einigen Beobachtungen nicht unwahrscheinlich, dass auch die durch Einwirkung sehr schwacher Geschmacksreize auf die Zunge erweckten

Empfindungen fälschlich für Tastempfindungen oder Gemeingefühle gehalten werden können. Gewiss würde Niemand daraus folgern wollen, dass Geschmacks- und Tastsinn auf der Zunge einen gemeinschaftlichen Apparat hätten. Ebenso bedenklich, wie die eben kritisirte Schlussfolgerung erscheint mir WUNDERLI's Hypothese über die Art der Momente, welche bei stärkeren Reizen zur Differenzirung der im Wesen gleichen Druck- und Temperaturempfindungen führen. Es sollen dieselben in quantitativen Verschiedenheiten der Vertheilung der einerseits durch Druck, anderseits durch Wärme oder Kälte in einer Hautpartie hervorgerufenen Erregung auf die in ihr endigenden einzelnen Nervenfasern bestehen. Jede mechanische wie jede thermische Einwirkung auf die Haut errege stets gleichzeitig eine Mehrzahl sensibler Fasern, jede Druck- und Temperaturempfindung bestehe demnach aus einer verschieden grossen Summe gleichartiger discreter Einzelempfindungen, welche vermöge des Raumsinnes von der Seele unterschieden werden können. Die Art der Zusammensetzung dieser Summen soll nun in Betreff der Grössen ihrer Elemente in der Art charakteristische Abweichungen bieten, als bei Wärmereizung im Innern des Reizbezirkes eine gleichmässige Erregung aller Nervenenden an den Rändern desselben eine allmähliche Abstufung der Erregungsstärke stattfinde, bei Druckreizung dagegen diese Abstufung am Rande fehle, im Innern aber in Folge der Unebenheit der Haut stark erregte oberflächliche mit schwacherregten oder unerregten tiefergelegenen Nervenenden abwechseln. Die erste Art der Mischung soll der Empfindungssumme das charakteristische Gepräge der Temperaturempfindung, die zweite dasjenige der Druckempfindung ertheilen! Je geringer die Anzahl der gleichzeitig getroffenen Nervenfasern, desto schwächer falle die Charakteristik aus, daher die häufigen Verwechselungen an der Rückenhaut, welche nach WUNDERLI noch dadurch begünstigt werden sollen, dass die scharfe Begrenzung des Reizbezirks durch den Papierrand die Verschiedenheiten der räumlichen Ausbreitung des Reizes am Rande desselben aufgehoben werden. Diese Erklärung ist durchaus unbefriedigend und mit den Thatsachen nicht vereinbar. Selbst wenn die angegebenen Differenzen der Vertheilung der Erregungsstärke richtig sind, ist nicht einzusehen, wie dieselben zu einer Aenderung der Qualität der Empfindung führen, wie sie etwas Anderes bewirken sollen, als eine entsprechend verschiedene Vertheilung der Empfindungsstärken in der Mosaik, zu welcher vermöge des Raumsinnes die Elemente der Summe in der Vorstellung nebeneinander gruppirt werden. Consequenter Weise müsste man voraussetzen, dass auch

die Qualität der Lichtempfindung sich ändere, je nachdem in einem von Licht bestrahlten Netzhautbezirk eine gleichmässig oder ungleichmässig vertheilte Stärke der Erregungen der einzelnen nebeneinander gebetteten Opticusenden vorhanden ist, was thatsächlich einfach zu widerlegen ist. Es ist ferner aus Wunderli's Hypothese in keiner Weise zu erklären, wie es möglich ist, dass wenn ein kalter oder warmer Körper die Haut in einer gewissen Ausdehnung berührt, nebeneinander eine Druckempfindung, welche zu mehr weniger richtiger Vorstellung von seiner Schwere führt, und eine Temperaturempfindung, welche uns über seine Kälte oder Wärme belehrt, entstehen, wie also die betreffende Summe von Einzelempfindungen gleichzeitig beide charakteristische Gepräge erhalten soll.

Wir glauben uns auf Grund der vorstehenden Erörterungen zu dem Ausspruch berechtigt, dass nicht nur die Identität des Druck- und Temperatursinnesapparats nicht erwiesen ist, sondern im Gegentheil eine vollständige Sonderung der nervösen Werkzeuge für beide Sinne, von den Erregungsvorrichtungen in der Haut bis zu den centralen Empfindungsapparaten die grössere Wahrscheinlichkeit für sich hat.

Unsere nächste Aufgabe besteht in der Untersuchung der Bedingungen, unter welchen eine Druckempfindung entsteht und des vermittelnden Vorgangs in der Haut, welche den äusseren Reiz in eine Nervenerregung umsetzt. Ein weiteres Eindringen in den physiologischen Process, dessen Anfangsglied die Auslösung der Erregung im peripherischen Nervenende, dessen nächstes Endglied die subjective Druckempfindung darstellt, stösst vorläufig noch auf unübersteigbare Hindernisse. Noch ist nicht einmal das Wesen des Leitungsvorganges in der Nervenfaser eruirt, noch ist absolut dunkel die Natur des „psychophysischen" Vorgangs in der centralen Endstation und deren Verhältniss zu dem psychischen Effect.

II. Das Zustandekommen der Druckempfindung und das Wesen der Reizwirkung.

Damit bei der Berührung des Tastorganes durch ein äusseres Object eine Druckempfindung zu Stande komme, muss die Compression der Haut eine gewisse Minimalgrösse überschreiten. Wir können diesen Grenzwerth, die intensive Schwelle des Reizes (Fechner), bestimmen, indem wir feststellen, bis zu welcher Grösse wir einen auf eine Hautstelle ausgeübten, durch die Schwere eines aufgelegten Gewichts gemessenen Druck von Null aus anwachsen lassen

müssen, damit eben ein deutliches Berührungsgefühl eintritt. Die bisher allgemein gültige Annahme, dass es auch einen oberen Grenzwerth des Reizes gäbe, bei dessen Ueberschreitung derselbe aufhöre Druckempfindung zu erzeugen, statt deren eine Schmerzempfindung hervorrufe, dürfte nach unserer in der Einleitung begründeten Anschauung dahin umzuformen sein, dass bei dem Anwachsen des Drucks über einen gewissen Maximalwerth neben der fortbestehenden Druckempfindung eine neue durch Erregung besonderer Nervenfasern vermittelte Empfindung, der Schmerz, entsteht, welche erstere im Bewusstsein übertäubt.

Den unteren Schwellenwerth hat zuerst KAMMLER[1] durch eine grosse Reihe an sich und Anderen angestellter sorgfältiger Versuche für die verschiedenen Theile des Tastorgans bestimmt. Diese Versuche haben im Allgemeinen ergeben, dass die Empfindlichkeit der Haut für minimale Druckgrössen an verschiedenen Stellen sehr beträchtliche Verschiedenheiten zeigt, diese Empfindlichkeitsscala aber auch bei verschiedenen Personen nicht ganz gleich ist. Das leichteste Gewicht, welches eine Tastempfindung erzeugt, betrug 0,002 Grm., dieselbe wurde von KAMMLER wahrgenommen an der Stirn, den Schläfen, der Dorsalseite der Vorderarme und Hände. Für die Volarseite der Vorderarme lag die Reizschwelle bei 0,003 Grm., für Nase, Lippen, Kinn, Augenlider, Bauchhaut bei 0,005 Grm., für die Volarseite der Finger sogar bei 0,005—0,015 Grm. Auf die Nägel der Finger und die Fersenhaut musste 1 Grm. aufgelegt werden, um ein Berührungsgefühl zu erwecken. Eine Vergleichung dieser Zahlen mit den unten für die Schärfe des Raumsinnes an verschiedenen Hautstellen aufzuführenden Maassen ergiebt, dass letztere mit der Empfindlichkeit durchaus nicht parallel läuft, dass z. B. die Finger die Stirnhaut und weit mehr noch die Bauchhaut an Feinheit des Raumsinnes übertreffen, an Empfindlichkeit aber den genannten Theilen mehr weniger nachstehen. Es müssen daher die Momente, von denen die Grösse beider Eigenthümlichkeiten des Tastorgans abhängt, verschieden sein. Einige der Umstände, welche den Grad der Empfindlichkeit bestimmen, lassen sich a priori bezeichnen und mit den Thatsachen vereinbaren. Die Empfindlichkeit wird um so grösser sein, je zahlreicher in einer Hautstelle von bestimmtem Umfang die Nervenenden, da mit der Zahl der gleichzeitig erregten Fasern die Empfindungsintensität durch Summirung wächst (s. unten), je dünner die Epidermis, je geringer also die Schwächung des Reizes

1 O. KAMMLER, Exper. d. var. cutis region. minim. pondere sentiendi virtute. Diss. Vratislav. 1858; AUBERT u. KAMMLER, Molesch. Unters. V. S. 145. 1859.

durch die Leitung, ferner je gespannter die Haut, je dichter unter ihr sich knöcherne Unterlagen befinden u. s. f.

Das Versuchsverfahren von Kammler bestand darin, dass er sehr leichte Gewichte (aus Papier, Hollundermark) von gleich grosser Oberfläche fertigte, und dieselben für sich oder noch durch aufgelegte Gewichte beschwert in allen Versuchen gleich langsam auf die zu prüfende Hautstelle herabliess.

Nach einem anderen Princip hat Goltz [1] die Empfindlichkeit verschiedener Hautstellen experimentell geprüft, und die gefundenen Werthe, welche von den Kammler'schen Resultaten wesentlich abweichen, als Maasse für die „Feinheit des Drucksinns“ aufgestellt. Goltz wurde zu seiner Untersuchung durch die Thatsache veranlasst, dass wir den Puls unserer Radial- oder Temporalarterien, welchen der tastende Finger deutlich wahrnimmt, nicht mit der über der Arterie selbst gelegenen Arm- oder Stirnhaut fühlen. Die Vermuthung, dass dieser Unterschied sich daraus erkläre, dass in ersterem Fall die Druckwirkung von aussen her durch die Epidermis, im zweiten Fall von innen her den Nervenenden zugeleitet werde, weist Goltz zurück, und sucht die Begründung desselben in verschiedenen Graden der Empfindlichkeit der Fingerhaut gegenüber der Arm- und Stirnhaut, weil er sich überzeugte, dass die Armhaut auch von aussen her auf sie wirkende Pulsschläge nicht wahrnimmt. Er kam daher auf den Gedanken, einen Maassstab für die Empfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen dadurch zu gewinnen, dass er denselben einem mit Wasser prall gefüllten Kautschuckschlauch (in gleicher Ausdehnung) anlegte und die Stärke der in ihm durch Compression erzeugten Spannungswellen bestimmte, welche zur Wahrnehmung des künstlichen Pulses an jeder Hautstelle erforderlich war. Es ergaben sich dabei, im Gegensatz zu Kammler's Beobachtungen, für die verschiedenen Hautregionen ganz entsprechende Differenzen, wie sie dieselben in Betreff der Schärfe des Raumsinnes zeigen, mit der einzigen Ausnahme, dass die Druckempfindlichkeit der Zungenspitze geringer als die der Fingerspitzen erschien, während der Raumsinn der ersteren den der letzteren an Schärfe übertrifft. Ich glaube nicht, dass es statthaft ist, wie es gewöhnlich geschieht, die Beobachtungen von Goltz direct mit denen von Kammler in Vergleich zu bringen und die Ergebnisse beider als widersprechende Antworten auf eine gleichlautende Frage aufzufassen. Während Kammler nach unanfechtbarer Methode die intensive Reizschwelle bestimmt, misst Goltz die Empfindlichkeit verschiedener Hautstellen für Druckschwankungen, für die minimale Grösse des Zuwachses, welche der von dem aufgelegten Schlauch auf die Haut ausgeübte Druck durch die Pulswelle erfahren muss, um einen merklichen Empfindungszuwachs zu erzielen, demnach die Welle wahrnehmbar zu machen. Die von Goltz beantwortete Frage ist daher nicht die nach der absoluten Empfindlichkeit, sondern die nach der Unterschiedsempfindlichkeit, mit anderen Worten, wie Goltz selbst sich ausdrückt, nach der Feinheit des Drucksinns in der Bedeutung, wie sie E. H. Weber auffasst und wie wir sie unten näher

1 F. Goltz, Centralbl. f. d. med. Wiss. S. 273. 1863.

prüfen werden. GOLTZ selbst hat daher seine Versuche mit Recht zu den von E. H. WEBER über die Feinheit des Drucksinns angestellten nicht zu den KAMMLER'schen in Parallele gesetzt. Eine andere, hier nicht zu discutirende Frage ist, ob, in diesem Sinne angewendet, die Methode von GOLTZ frei von Bedenken ist.

Obwohl sich zur Zeit eine fest begründete physiologische Erklärung der Thatsache der Reizschwelle nicht geben lässt, so liegen doch verschiedene vollberechtigte Erklärungsmöglichkeiten vor und ist FECHNER's[1] Behauptung von der Unhaltbarkeit einer physiologischen Deutung der Reizschwelle entschieden zurückzuweisen. Es ist sehr wohl denkbar, dass der äussere Reiz eine bestimmte Minimalgrösse erreichen muss, um den inneren Sinnesreiz auszulösen, oder dass letzterer bis zu einem bestimmten Werth anwachsen muss, um die Nerven zu erregen, oder dass die Erregungswelle eine bestimmte Höhe besitzen muss, um gewisse in den centralen Endapparaten, den Ganglienzellen gegebene Widerstände zu überwinden, welche ihrer Umsetzung in den der Empfindung zu Grunde liegenden physischen Process entgegenstehen. Man könnte auch an eine Verzehrung lebendiger Kräfte der Erregung auf dem Leitungswege denken, wenn dem nicht die gegentheilige PFLÜGER'sche Hypothese vom lawinenartigen Anschwellen der Erregung entgegenstände, eine Hypothese, die zwar wiederholt angegriffen, aber meines Erachtens auch durch die neueren Einwendungen FLEISCHL's nicht entscheidend widerlegt ist. Gar keinen zwingenden Grund kann ich in FECHNER's Argumentation für die „psychophysische“ Erklärung der Schwelle erblicken, welche aussagt, dass zwar jeder über dem Nullpunkt liegende Reiz die zwischen ihm und der Empfindung liegenden Glieder des physiologischen Vorganges in einer seiner Grösse proportionalen Stärke hervorrufe, diese physischen Vorgänge aber erst bei einer bestimmten Intensität den psychischen Process in seiner niedrigsten Grösse zu erwecken vermögen. Andererseits kann ich auch AUBERT, PREYER[2] u. A. nicht beipflichten, welche insofern die Thatsache der Reizschwelle überhaupt anzweifeln, als sie auch bei Abwesenheit aller äusseren Reize eine continuirliche Erregung aller Sinnesapparate durch innere Reize, also auch eine continuirliche Kette dadurch erzeugter schwacher Empfindungen annehmen, so dass die durch den schwächsten wahrnehmbaren äusseren Reiz erzeugte Empfindung

1 TH. FECHNER, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1864. S. 1; Elemente d. Psychophysik. Th. II. S. 431. Leipzig 1860.

2 AUBERT, Physiol. der Netzhaut. S. 42. Breslau 1865. PREYER, Physiol. Abh. 1. Hft. S. 65. Vgl. G. E. MÜLLER, Z. Grundlegung d. Psychophysik. S. 236. Berlin 1878.

eigentlich nur eine merkliche Verstärkung der schon vorhandenen (subjectiven) Empfindung sei, die sogenannte Reizschwelle also nur eine Unterschiedschwelle (s. unten) darstelle. Ich kann mich bei der aufmerksamsten Prüfung nicht von dem beständigen Vorhandensein von Druckempfindung ohne objective Ursache von allen Stellen meines Tastorganes aus überzeugen.

Zur Aufstellung einer zweiten wesentlichen Bedingung für das Zustandekommen einer Druckempfindung ist Meissner[1] durch die nähere Verfolgung einer auffallenden Thatsache gelangt. Die leicht zu constatirende Thatsache ist die, dass wenn wir unsere Hand in eine Flüssigkeit, Wasser oder Quecksilber von der Temperatur der Hand eintauchen, an keinem Theil der untergetauchten Tastfläche eine Tastempfindung entsteht, obwohl der Druck der auf ihr lastenden Flüssigkeitssäule mehr weniger hoch über der Reizschwelle liegt, sondern nur an der Grenzlinie zwischen der eingetauchten und der freien Hautpartie, und zwar auch da nur an der Volarseite der Hand deutlich, eine Druckempfindung auftritt. Wir fühlen die Berührung der Flüssigkeit nur an diesem Berühungsrand nicht mit den eingetauchten Theilen. Da andererseits feststeht, dass beim Anlegen der Haut an die Oberfläche eines festen Körpers in der ganzen Ausdehnung der berührenden Tastfläche Druckempfindungen entstehen, muss ein wesentlicher Unterschied vorhanden sein einmal zwischen der Einwirkung fester und flüssiger Körper auf die Haut, zweitens zwischen der Einwirkung von Flüssigkeiten auf die untergetauchte Fläche und auf die bezeichnete Grenzlinie. Die Aufsuchung dieser Unterschiede führt uns nothwendig auf die Grundfrage nach dem Wesen der Reizwirkung, nach den Zuständen oder Vorgängen in der gedrückten Haut, welche die Erregung der sensiblen Nervenenden bewirken. Offenbar muss, sobald ein gewisser Druck von aussen her auf eine Hautpartie ausgeübt wird, derselbe die einzelnen Hauttheilchen einander zu nähern suchen und somit eine Vermehrung des Drucks, welchen sie wechselseitig auf einander ausüben, bedingen. Diese Spannungszunahme wird von dem Grade des äusseren Drucks abhängen und so lange fortbestehen, als letzterer einwirkt. Es fragt sich, ob dieser stetige neue Gleichgewichtszustand der Hauttheilchen als die unmittelbare Ursache einer anhaltenden Nervenerregung mithin einer anhaltenden Druckempfindung aufgefasst werden kann. Diese Auffassung wird ausgeschlossen durch das oberste Gesetz der allgemeinen Nervenphysiologie, nach welchem eine Ner-

---

1 G. Meissner, Ztschr. f. rat. Med. (3) VII. S. 92.

venerregung niemals durch einen statischen Zustand, sondern nur durch plötzliche, mit einer gewissen Geschwindigkeit ablaufende Veränderungen irgend welches Gleichgewichtszustandes im Nerven ausgelöst werden kann, eine scheinbar stetige anhaltende Erregung, ein Tetanus, daher nur durch einen intermittirenden Vorgang, eine Reihe rasch sich folgender einzelner Gleichgewichtsschwankungen zu Stande kommt. Mit diesem Gesetz sehen wir auch die Reizverhältnisse in anderen Sinnesgebieten, soweit sie eruirt oder plausibeln Hypothesen zugänglich sind, in evidentem Einklang. Entweder besteht der äussere Sinnesreiz selbst unzweifelhaft in einer periodischen Bewegung und es lässt sich erweisen, dass er als solcher an die Nervenenden herantritt, oder es liegen gewichtige Gründe für die Annahme vor, dass im Sinnesorgane der äussere Reiz in einen aus Bewegungen bestehenden inneren Sinnesreiz umgesetzt werde. Am klarsten stellt sich dieses Verhalten im Gebiete des Gehörssinnes heraus, wo nicht allein der äussere Reiz eine periodische Bewegung ist, sondern auch die seine Einwirkung auf die Nervenenden vermittelnden Vorrichtungen in Schnecke und Vorhof unzweideutig sich als mechanische Tetanisirapparate ausweisen. Für den Opticus bilden zwar die Schwingungen des Lichtäthers nicht den directen Reiz; allein es befestigt sich mehr und mehr die Vermuthung, dass es chemische Molecularbewegungen sind, durch deren Vermittlung sie erregend wirken. Ebenso sind es höchstwahrscheinlich durch riechbare und schmeckbare Substanzen hervorgerufene chemische Bewegungen, welche die Erregung der Geruchs- und Geschmacksnervenfasern auslösen; für ersteren Nerven wird diese Annahme durch die interessanten Beobachtungen WOLFF's [1] über das Verhalten des Secrets der Drüsen der Riechschleimhaut gegen Riechgase fast zur Gewissheit bestätigt. Endlich erinnern wir daran, dass auch der äussere Reiz für den Temperatursinn, die Wärme eine Bewegung ist, und dass es Aenderungen der Intensität der Wärmevibrationen der Hauttheilchen sind, welche Wärme- und Kälteempfindungen erzeugen. Nach alledem dürfen wir mit Sicherheit voraussetzen, dass auch für die Drucksinnsnerven durch die Compression der Haut geweckte Bewegungen irgend welcher Art den unmittelbaren inneren Sinnesreiz bilden. Diese Vorstellung hat zuerst LOTZE [2] zu begründen, und zugleich Art und Entstehung der hypothetischen Reizbewegungen näher zu definiren versucht. MEISSNER hat LOTZE's Anschauungen vollständig adoptirt und weiter

1 O. J. B. WOLFF, Die Mechanik d. Riechens. Samml. gemeinverst. wissensch. Vortr. Herausgeg. von VIRCHOW u. HOLTZENDORFF. XIII. Ser. Hft. 289. Berlin 1878.
2 LOTZE, Medic. Psychologie. S. 198. Leipzig 1852.

ausgeführt. Die nächste Folge einer Druckeinwirkung auf die Haut besteht zweifelsohne in einer successiven Verschiebung der dem Druck ausweichenden Hauttheilchen. Kämen dieselben in der neuen Lage, in welche sie durch die Verschiebung gerathen, sofort wieder zur Ruhe, so könnte diese einmalige Bewegung, wenn sie das Nervenende erreicht, nur eine einfache momentan ablaufende Reizwelle also auch nur eine mit dem Beginn der Berührung zusammenfallende momentane Empfindung hervorrufen, vorausgesetzt, dass das Nervenende in irgend welcher Weise durch seinen specifischen Endapparat für diese schwache mechanische Einwirkung empfänglich gemacht ist. Um daher die mehr weniger lange Fortdauer der Druckempfindung erklären zu können, nehmen LOTZE und MEISSNER an, dass die Hauttheilchen unter der Einwirkung äusseren Drucks nicht sofort zur Ruhe kommen, sondern in anhaltende Bewegung, in regelmässige Oscillationen um eine Gleichgewichtslage gerathen und dass diese Oscillationen den inneren Sinnesreiz bilden, die Enden der Drucksinnesnerven tetanisiren. Gegen diese Hypothese erheben sich eine Anzahl schwer wiegender Bedenken, abgesehen davon, dass sie keine Erklärung dafür giebt, wie diese schwachen, weit unter der Schwelle eines directen mechanischen Reizes liegenden Bewegungen wirksam gemacht werden. Man wendet vor Allem dagegen ein, dass die Haut in ihrer festweichen Beschaffenheit, ihrer Zusammensetzung aus den verschiedensten Gewebselementen von vornherein ausserordentlich ungeeignet zu regelmässigen Vibrationen erscheint, und dass, wenn solche in ihr durch einen einmaligen Impuls, wie die im Beginn der Berührung eintretende Verschiebung, zu Stande kommen, sie jedenfalls so rasch an lebendiger Kraft abnehmen und ausklingen müssen, dass an eine zeitliche Deckung derselben mit der factischen Dauer der Berührungsempfindung nicht zu denken ist. Allerdings hat MEISSNER diesem Einwand zu begegnen gesucht, indem er die Vermuthung ausspricht, dass, wo wirklich eine längere Dauer der Empfindung stattfinde, eine entsprechend lange Unterhaltung der Oscillationen durch wiederholte kleine Verschiebungen der Haut gegen das drückende Object, ja schon durch die regelmässig wiederkehrenden, von den Pulswellen in den Hautarterien herrührenden Veränderungen des Compressionszustandes bewirkt werde. Wo solche Erneuerungsbedingungen der Oscillationen fehlen, vergehe auch die Empfindung mehr weniger rasch nach dem Beginn der Berührung trotz beliebig langer Fortdauer der letzteren. Allein auch diese Vertheidigung ist sehr bedenklich. Es ist nicht zu begreifen, dass so geringfügige Aenderungen des Compressionszustandes, wie sie durch die Pulswel-

len herbeigeführt werden können, die fraglichen Oscillationen in derselben Intensität, wie sie die Verschiebung im Beginn der Compression erzeugt, gleichförmig unterhalten sollen. Sicher liegen diese Aenderungen für den bei weitem grössten Theil der Haut weit unter der Reizschwelle, und selbst an solchen Stellen, wo sie durch die Nähe einer grösseren Arterie unter der berührten Hautregion einen höheren Werth erreichen, könnten sie doch nur periodische Verstärkungen der Oscillationen, demnach entsprechende Intensitätsschwankungen der Druckempfindung erzeugen. Legen wir z. B. auf eine Seite der Stirn, unter welcher kein grösserer Arterienast pulsirt, bei unterstütztem Kopf ein Gewicht, so besteht die Druckempfindung, wie man sich leicht überzeugen kann so lange gleichförmig fort, dass meines Erachtens an eine entsprechend lange Fortdauer der durch die erste Verschiebung erzeugten Oscillationen ebensowenig zu denken ist, als an eine stetige Erneuerung derselben durch unmerkliche Pulsbewegungen. Ferner sollte man nach der in Rede stehenden Theorie mit Sicherheit erwarten, dass am Ende einer Berührung bei der Wegnahme eines drückenden Gewichts die Rückkehr der Hauttheilchen zu ihrer ursprünglichen Gleichgewichtslage mit ebenso anhaltenden Vibrationen also einer langen Nachdauer der Empfindung einherginge, was durchaus nicht der Fall ist. Selbstverständlich kann nicht etwa in diesem Sinne die lange Nachdauer der Berührungsvorstellung, welche entsteht, wenn man z. B. durch vorübergehendes Aufdrücken eines Geldstückes auf die Stirnhaut einen bleibenden langsam sich ausgleichenden Eindruck erzeugt hat, gedeutet werden, da hierbei wirklich ein Compressionszustand der Haut fortbesteht.

Wenn demnach die Lotze-Meissner'sche Oscillationshypothese in der dargestellten Form schwerlich haltbar ist, so wird doch dadurch die Sicherheit der Voraussetzung, dass Bewegungen den inneren Sinnesreiz darstellen, nicht alterirt. Wir müssen an der Vorstellung festhalten, dass die Compression der Haut, oder richtiger der Endapparate der Drucksinnesnerven (der Tastzellen?) in irgend welcher Weise und irgend welcher Form Bewegungen auslöst, welche den Nerven erregen, dass diese Bewegungen an Ausgiebigkeit mit dem Grad der Compression wachsen, und dass ihre zeitliche Dauer der Compressionsdauer entspricht, sofern erstere nicht durch irgend welche Erschöpfungsbedingungen verkürzt wird.

Kehren wir jetzt zum Ausgangspunkt unserer Betrachtungen, der Frage nach den Unterschieden der Einwirkung fester und flüssiger Körper auf das Tastorgan und der daraus abzuleitenden wesentlichen Bedingung für die Entstehung von Druckempfindungen zurück, so

müssen wir bei der Beurtheilung der auf dieselbe von Meissner gegebenen Antwort, soweit dieselbe auf der Oscillationshypothese ruht, den gegen dieselbe vorgebrachten Bedenken Rechnung tragen. Der fragliche Unterschied besteht nach Meissner darin, dass eine Flüssigkeit sich allen Punkten einer untergetauchten Hautfläche gleichmässig anschmiegt, ein fester Körper aber nur die vorragenden Erhabenheiten, die Leisten der Haut berührt, die dazwischenliegenden Thäler frei lässt. Die nächste Folge davon ist, dass Flüssigkeiten einen auf allen Punkten gleichen Druck auf die Tastfläche ausüben, welchem die Hauttheilchen in einer zur Oberfläche senkrechten Richtung auszuweichen streben, während bei der Berührung fester Körper den Hauttheilchen ein seitliches Ausweichen gegen den auf die Leisten ausgeübten Druck nach den freien Thälern gestattet ist, und ebenso an der Grenzlinie einer in Flüssigkeit untergetauchten Fläche eine solche seitliche Verschiebung möglich ist. Dass nun wirklich diese Verschiedenheit der Richtung, in welcher der Druck sich fortpflanzt und die Hauttheilchen demselben ausweichen, die Ursache ist, dass in dem einen Fall eine Druckempfindung eintritt, im anderen nicht, beweist Meissner schlagend, indem er zeigt, dass auch bei festen Körpern das Berührungsgefühl wegfällt, sobald man auch für ihn die Bedingung einer allseitigen gleichmässigen Anschmiegung an die Haut herstellt. Meissner stellte einen genauen Abguss der Hautoberfläche eines Fingers in Paraffin her und überzeugte sich, dass bei Berührung des Abgusses mit der entsprechenden Tastfläche die Berührungsempfindung sofort verschwindet, sowie eine genaue Einschmiegung des Hautreliefs in seine Gussform stattfindet, und dass in diesem Fall auch nicht durch Anpressung des letzteren an ersteres eine Druckempfindung hervorgerufen wird. Die weiteren Folgerungen Meissner's sind problematisch. Er glaubt, dass die verschiedene Richtung, in welcher die Theilchen bei der Berührung fester und flüssiger Körper ausweiche, auch eine verschiedene Richtung der hypothetischen Oscillationen bedinge. Der gleichförmige, senkrecht gegen die Cutis gerichtete Druck einer Flüssigkeit soll den Oscillationen dieselbe Richtung ertheilen, so dass sie die Tastkörperchen parallel zu ihrer Längsachse durchsetzen, mithin die nach seiner Ansicht rechtwinklig zu dieser Achse laufenden Nervenenden rechtwinklig zu ihrer Längsachse treffen. Umgekehrt sollen die bei der Berührung fester Körper seitlich ausweichenden Theilchen in Oscillationen, welche der Hautoberfläche parallel gerichtet sind, gerathen, diese daher die Nervenenden in der Richtung ihrer Längsachse durchsetzen. Dieser Ver-

lauf der Erschütterungen in den Nervenenden soll erregend wirken, die quere Richtung derselben dagegen nicht. Das Bedenkliche dieser MEISSNER'schen Erklärungen liegt nicht allein in der Unsicherheit der Oscillationshypothese, sondern auch in der zweifelhaften Richtigkeit der anatomischen Voraussetzung in Betreff des Verlaufs der Nervenenden und der Annahme einer directen Reizung dieser Faserenden durch die fraglichen Vibrationen der Hauttheilchen.

III. Intensität der Druckempfindungen.

Die **Intensität der Druckempfindungen** wächst und sinkt in bestimmter gesetzmässiger Zeit mit der Stärke des Reizes, mit dem Grade der Compression der Haut, also mit der Schwere des Gewichtes, durch welche letztere hervorgebracht wird. Es stellt sich uns die Aufgabe, auf empirischem Wege dieses Gesetz der Beziehungen zwischen Reiz- und Empfindungsstärke zu eruiren, seine Bedeutung zu erörtern und seine physiologische Erklärung zu versuchen. Selbstverständlich besitzt die Seele für den Drucksinn so wenig, wie für irgend welchen anderen Sinn, einen directen subjectiven Maassstab, welchen sie an eine Empfindung anlegen, an welchem sie die Stärke derselben ablesen könnte, um sich dieselbe als einen aus einer bestimmten Anzahl von Einheiten zusammengesetzten Werth vorzustellen und diesen mit der zugehörigen Grösse des äusseren Reizes zu vergleichen. Wir können niemals als Resultat einer directen Abwägung unserer Empfindungen angeben, wie stark eine solche im gegebenen Fall, um welche Grösse sie stärker oder schwächer als eine andere gleichzeitige oder vorhergegangene Empfindung derselben Modalität und Qualität. Wir können daher auch nicht direct auf dem einfachen Wege, welcher zur Erkenntniss der Intensitätsbeziehungen zweier physischer Vorgänge zu einander führt, zur Construction der Curve, welche die Grösse der Druckempfindungen auf die Grösse der Druckreize als Abscissenachse bezogen darstellt, gelangen, nicht direct die Bestätigung oder Widerlegung der von vornherein wahrscheinlichsten und teleologisch plausibelsten Voraussetzung, dass zwischen beiden Grössen das Verhältniss einfacher directer Proportionalität bestehe, gewinnen. Wohl aber vermögen wir, mit einer bis zu gewissen Grenzen gehenden Genauigkeit beurtheilen, ob zwei gleichzeitig oder nach einander auftretende Empfindungen derselben Qualität, gleich stark sind oder nicht, und welches in letzterem Fall die intensivere ist. Auf dieser Grundthatsache ruht das von E. H. WEBER zuerst klar ausgesprochene und experimentell verwerthete

Princip einer Messung der Feinheit des Drucksinnes. Da diesem Sinn die Aufgabe gestellt ist, der Seele über die relativen und mittelbar auch die absoluten Intensitäten von der Aussenwelt auf uns einwirkender Kräfte, wie der Schwerkraft, möglichst richtige Vorstellungen zu verschaffen, um dieselben als diagnostische Marken objectiver Verhältnisse weiter zu verwerthen, vor allem auch danach die nothwendige Grösse der Gegenleistung der vom Organismus entwickelten Bewegungskräfte zu bemessen, so liegt auf der Hand, dass die Feinheit der Leistungen des Drucksinnes von der Feinheit der Unterschiedsempfindlichkeit, d. h. von der Feinheit, bis zu welcher wir Verschiedenheiten objectiver Druckgrössen aus den bewusstwerdenden Intensitätsdifferenzen der von ihnen erzeugten Druckempfindungen aufzufassen vermögen, abhängt. Wir gewinnen daher ein Maass für die Feinheit des Drucksinnes, wenn wir die „Unterschiedsschwelle" (Fechner) d. h. die kleinsten eben merklichen Unterschiede der Reizgrössen bestimmen, mit anderen Worten, wenn wir empirisch nachweisen, umwieviel jede beliebige, z. B. durch ein beliebiges die Haut belastendes Gewicht repräsentirte Reizgrösse vermehrt oder vermindert werden muss, damit eine eben merkliche Verstärkung oder Schwächung der Druckempfindung eintritt. So einfach es scheint, die gestellte Aufgabe nach diesem Princip experimentell zu lösen, so hat sich doch bei näherer Ueberlegung und auf Grund von Erfahrungen herausgestellt, dass die Nothwendigkeit der Beseitigung gewisser Fehlerquellen einige Complicationen der Messungsmethoden bedingt. E. H. Weber selbst hat die wichtigsten, physiologisch höchst interessanten Momente, welche die Resultate der Beobachtungen über die kleinsten merklichen Druckunterschiede wesentlich beeinflussen, richtig erkannt und bei seinen grundlegenden Versuchen berücksichtigt.

IV. Feinheit des Drucksinns.

Vor allen Dingen hat Weber gezeigt, dass es bei einer Messung der Feinheit des Drucksinnes unerlässlich ist, die Einmischung eines zweiten Sinnes, welcher durch denselben äusseren Reiz angesprochen der Seele Belehrungen über seine Grösse verschafft, d. i. des Muskelsinnes, auszuschliessen. In der That stehen uns zwei Wege offen, welche entweder gesondert, je nach Umständen der eine oder der andere, oder auch gleichzeitig benutzt werden, um uns über die Schwere eines Gewichtes zu unterrichten. Entweder taxiren wir dieselbe nach der Intensität der Druckempfindung, welche

es durch Compression einer Hautstelle erweckt, oder nach dem Anstrengungsgefühl, welches bei seiner Hebung die dabei thätigen Muskeln uns verschaffen. Wir werden die Resultate, zu denen der zweite Weg führt, unten für sich besprechen, ihre Genauigkeit prüfen und zu der Frage, wie sie zu Stande kommen, Stellung nehmen. Da aber von vornherein durchaus nicht ersichtlich ist, ob die Aussagen beider Sinne völlig gleichlautend sind, ob nicht beim gleichzeitigen Gebrauch beider irgend welche Interferenz stattfindet, ist selbstverständlich zur Beantwortung der hier vorliegenden Frage eine isolirte Prüfung der Unterscheidungsschärfe von Druckgrösse durch Druckempfindungen geboten. Weber erzielte diese Isolation, indem er die zu vergleichenden Gewichte bei völlig unterstützter, auf einem Tisch ruhender Hand auf die Volar- oder Dorsalseite der beiden letzten Gliedern von zwei oder drei Fingern auflegte. Es bedarf kaum der Erwähnung, dass bei derartigen Versuchen auch der Gesichtssinn auszuschalten ist, dass die betreffenden Personen nicht sehen dürfen, in welchem Sinne und Maasse Veränderungen der durch den Drucksinn zu prüfenden Gewichtsgrösse vorgenommen werden, damit nicht die auf diesem Wege gewonnenen Kenntnisse von der Veränderung der Reizgrösse irrthümlich auf Rechnung des Drucksinnes gebracht werden.

Weber hat ferner festgestellt, dass es am zweckmässigsten ist, die durch den Drucksinn zu vergleichenden Gewichte unmittelbar nach einander auf dieselbe Tastfläche wirken zu lassen, dass bei diesem Verfahren sicherere und feinere Resultate gewonnen werden, als wenn wir die zu prüfenden Gewichte gleichzeitig oder auch nach einander auf zwei verschiedene Tastflächen, z. B. symmetrische Stellen beider Hände auflegen. Es ergiebt sich daraus, dass wir die Intensitäten zweier gleichzeitiger Druckempfindungen, zwischen denen die Aufmerksamkeit sich theilen muss, weniger genau vergleichend zu beurtheilen vermögen, als die Intensität einer reellen gegenwärtigen Empfindung mit derjenigen des Erinnerungsbildes einer vergangenen Empfindung, dass aber auch bei zeitlich getrennten Empfindungen die Genauigkeit des Intensitätsvergleiches gestört wird, wenn die Aufmerksamkeit der Seele ausser durch die Intensitätsdifferenzen auch noch durch diejenigen Verschiedenheiten, welche zur Wahrnehmung des verschiedenen Orts der Einwirkung führen, in Anspruch genommen wird, selbst wenn letztere sich auf den Unterschied von Rechts und Links reduciren. Sind die zur Prüfung verwendeten verschiedenen Tastflächen noch dazu nicht symmetrische, gehören sie verschiedenen Hautregionen an, so kommen noch die

unten zu besprechenden factischen Differenzen der relativen Feinheit des Drucksinns derselben in Betracht. Weber hat aber auch gezeigt, dass bei der Vergleichung der Intensitäten nacheinander folgender Empfindungen die Grösse des Zeitintervalls zwischen beiden von wesentlichem Einfluss auf die Genauigkeit des Resultats ist, dass mit der Zunahme desselben, und zwar bei verschiedenen Personen mit verschiedener Geschwindigkeit die Deutlichkeit und damit die Vergleichsfähigkeit des Erinnerungsbildes sich abschwächt, so dass die Differenz zweier eben als verschieden erkennbaren Gewichte um so grösser sich herausstellt, je längere Zeit zwischen dem Auflegen des einen und des anderen verstrichen. Während bei Intervallen von 15—30 Sec. Weber noch Gewichte, die sich wie 29:30 verhielten, als verschieden schwer erkannte, war dies bei 60—90 Sec. nur bei solchen möglich, welche sich wie 4:5 verhielten. Es folgt daraus die Nothwendigkeit, bei Versuchsreihen ein gleiches Intervall einzuhalten.

Ferner hat Weber als Bedingung richtiger Resultate erkannt, dass die zu vergleichenden Gewichte mit gleich grosser Oberfläche die Haut berühren, da von zwei gleich grossen Gewichten dasjenige, welches auf eine grössere Hautfläche einwirkt also eine grössere Anzahl von Nervenenden erregt, als das schwerere erscheint, analog wie die Temperatur eines warmen Wassers uns höher erscheint, wenn wir die ganze Hand, als wenn wir nur einen Finger eintauchen, wie eine gegebene Helligkeit mit der räumlichen Ausbreitung des Lichtreizes auf der Netzhaut zu wachsen scheint. Diese Thatsachen sind als Beweise angesehen worden, dass eine gewisse Summirung der Einzeleindrücke, welche die einzelnen von einem Reiz gleichzeitig getroffenen Nervenfasern erzeugen, im Sinne einer Steigerung der Intensität der Sammelempfindung stattfinde. Eine bündige Erklärung der Thatsache und der Art, wie die Summirung zu Stande kommt, besitzen wir nicht. Es lässt sich nicht entscheiden, ob die Erscheinung einen physiologischen Grund hat, ob in irgend welcher Weise der in einem einzelnen Empfindungsapparat in bestimmter Grösse erweckte Vorgang verstärkend auf den durch den gleichen Reiz ausgelösten Vorgang in einem benachbarten Apparat wirkt, oder ob es sich um eine Urtheilstäuschung handelt, um eine Verwechselung der grösseren Zahl der nicht deutlich gesondert vor das Bewusstsein tretenden Einzelempfindungen mit einer grösseren Intensität, auf deren Prüfung die Aufmerksamkeit gerichtet ist.

Endlich hat Weber erwiesen, dass die zu vergleichenden Gewichte die gleiche Temperatur haben müssen, damit nicht durch

die bereits oben (S. 320) ausführlich erörterte sogenannte Interferenz von Druck- und Temperaturempfindungen Irrthümer in der Beurtheilung der Schwere entstehen.

Selbst bei gewissenhafter Einhaltung aller dieser von Weber ermittelten Versuchsbedingungen wird die Gewinnung exacter Werthe für die Unterschiedsempfindlichkeit noch durch gewisse zufällige, experimentell nicht zu beseitigende Fehlerquellen erschwert. Das Vorhandensein derselben ergiebt sich aus den einfachen Thatsachen, dass unter sonst gleichen Umständen eine und dieselbe Reizdifferenz von derselben Person in verschiedenen Einzelversuchen verschieden aufgefasst wird, dass eine in einem Versuch als eben merklich constatirte Differenz zweier Gewichte, in einem zweiten Versuch nicht merklich oder übermerklich erscheint, dass an dieser Grenze zuweilen ein Irrthum in der Auffassung der Empfindungsintensitäten sogar in dem Sinne auftritt, dass das schwerere Gewicht für das leichtere gehalten wird. Den Einfluss dieser Fehlerquellen hat man in verschiedener mehr weniger zuverlässiger Weise bei den einzelnen speciellen Bestimmungsmethoden des Unterschiedsschwellenwerthes zu eliminiren gesucht. Da uns zu einer erschöpfenden Erläuterung und Abwägung der einzelnen Methoden hier der Raum fehlt, beschränken wir uns unter Verweisung auf die ausführlichen kritischen Beleuchtungen von Fechner und G. E. Müller[1] auf eine kurze Definition der bisher im Gebiete des Drucksinnes besonders verwendeten Methoden.

Die von Weber selbst zuerst benutzte Methode, welche man als die „Methode der eben merklichen Unterschiede" bezeichnet, besteht darin, dass man ausgehend von zwei gleichen Gewichten, welche nach einander auf dieselbe Hautstelle aufgelegt selbstverständlich keinen Empfindungsunterschied erzeugen, bei einer fortgesetzten Reihe in gleichen Intervallen erfolgender Vergleichsauflegungen das eine derselben successiv so lange erhöht, bis eben ein merklicher Unterschied eintritt. Die Beseitigung der zufälligen Fehler sucht man durch eine öftere Wiederholung der gleichen Versuchsreihe zu bewirken, indem man unter der Voraussetzung, dass die dabei nach der Plus- und Minusseite begangenen Fehler sich mehr oder weniger compensiren, aus den für den kleinsten merklichen Druckunterschied in den einzelnen Reihen erhaltenen Werthen das Mittel nimmt. Müller schlägt vor, zur Vergrösserung der Genauigkeit der Resultate, mit dieser Versuchsmethode eine zweite zu combiniren, deren Princip darin besteht, dass man von einem übermerklichen Gewichtsunterschiede ausgehend, das eine der vergleichend aufgelegten Gewichte successiv so lange verkleinert, bis der Unterschied eben aufhört,

1 Fechner, Elem. d. Psychophysik. I. S. 71; G. E. Müller, Zur Grundlehre d. Psychophysik. S. 11.

merklich zu sein. Als möglichst genauer Unterschiedsschwellenwerth wird dann das Mittel aller nach der ersten Methode für den eben merklichen und nach der zweiten Methode für den eben unmerklichen Reizunterschied erhaltenen Werthe betrachtet. Müller bezeichnet die so combinirte Methode der eben merklichen und eben unmerklichen Unterschiede als die „Methode der kleinsten Unterschiede“.

Eine zweite, in vieler Beziehung den Vorzug verdienende Methode ist die zuerst von Fechner sorgfältig ausgearbeitete „Methode der richtigen und falschen Fälle“. Das Princip derselben besteht darin, dass man zwei Gewichte, deren Unterschied an der Grenze der Merklichkeit liegt, in einer grösseren Anzahl von Einzelversuchen vergleichend nach einander auflegt und nach jedem solchen Versuch notirt, ob eines der beiden Gewichte und welches derselben als das schwerere erscheint. Man erhält so drei Reihen von Fällen, von denen jede einen bestimmten Bruchtheil der Zahl der Gesammtfälle bildet, eine Reihe $\left(\frac{r}{n}\right)$, in welcher der Gewichtsunterschied richtig erkannt wird, eine zweite $\left(\frac{f}{n}\right)$, in welcher derselbe falsch beurtheilt, das schwerere Gewicht für das leichtere gehalten wird, und eine dritte Reihe $\left(\frac{z}{n}\right)$, in denen es zweifelhaft erscheint, welches derselben das schwerere. Eine jedoch nicht völlig correcte Vereinfachung wird erzielt, wenn man, wie dies von Fechner geschehen ist, die Hälfte der zweifelhaften Fälle zu den richtigen, die andere Hälfte zu den falschen Fällen rechnet. Durch eine mathematische Operation, zu deren umständlicher Darlegung uns hier der Raum fehlt, berechnet sich aus den experimentell erhaltenen Werthen der drei Verhältnisse der den Versuchsbedingungen entsprechende Unterschiedsschwellenwerth, d. h. diejenige Druckdifferenz, welche bei Wegfall aller zufälligen Fehler und Beseitigung aller das Resultat variirenden äusseren Einflüsse, eben merklich ist.

Eine dritte Methode, die „Methode der mittleren Fehler“, besteht darin, dass man versucht, einem gegebenen Gewicht ein zweites nach der Beurtheilung der beim vergleichungsweisen Auflegen beider erhaltenen Empfindungsintensitäten gleich zu machen. Beim Nachwägen des zweiten Gewichts bei hergestellter anscheinender Gleichheit, ergiebt sich die Grösse des begangenen Fehlers. Bei Wiederholung des Versuchs erhält man Fehler verschiedener Grösse, das Mittel dieser Fehler liefert ein Maass für die Unterschiedsempfindlichkeit unter den gegebenen Bedingungen.

Von einer Erörterung einer von Plateau[1] begründeten, von Delboeuf[2] zur Prüfung der Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete der Lichtempfindungen benutzten, für den Drucksinn aber noch nicht verwendeten vierten Methode, der „Methode der übermerklichen Unterschiede“ müssen wir hier absehen.

---

1 Plateau, Sur la mesure d. sensat. phys. Bull. d. l'acad. de Belgique XXXIII. p. 376. XXXIV. p. 250. 1872.

2 Delboeuf, Mém. couronn. Bull. d. l'acad. de Belg. XXIII. 1873. XXVI. 1875.

Die Ergebnisse der nach diesen Methoden bisher ausgeführten Bestimmungen der Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Drucksinnes sind folgende. E. H. Weber[1] beschränkte sich darauf, die kleinsten Gewichtsdifferenzen zu bestimmen, welche einmal bei Belastung der Haut mit Lothen, das andere Mal mit Unzen, mit Hülfe des Drucksinns aufgefasst werden konnten, und fand in beiden Fällen dieselbe relative Differenz als Grenze der Unterschiedsempfindlichkeit. Dieselbe war in beiden Fällen, bei Benutzung der Volarseite der letzten Fingerglieder als Tastfläche und successivem Auflegen der Gewichte auf dieselbe Stelle, erreicht, wenn sich die verglichenen Gewichte wie 29:30 verhielten; es wurden im günstigsten Fall eben noch 14½ Loth von 15 Loth und 14½ Unzen von 15 Unzen als verschieden schwer erkannt. Mit anderen Worten: wenn zur ebenmerklichen Verstärkung der Empfindung, welche eine Belastung der Haut mit 14½ Loth erweckte, ein Reizzuwachs von ½ Loth erforderlich war, so zeigte sich, dass bei Belastung mit 14½ Unzen derselbe absolute Reizzuwachs von ½ Loth nicht zur merklichen Verstärkung der Empfindung genügte, sondern zu diesem Zweck der ursprüngliche Reiz um dieselbe relative Grösse, also ½ Unze erhöht werden musste. Eine solche Feinheit des Drucksinns, wie sie die Wahrnehmbarkeit eines Gewichtsunterschiedes von $^1/_{30}$ repräsentirt, wurde übrigens nur bei einzelnen Versuchspersonen unter den günstigsten Bedingungen beobachtet, bei anderen Personen blieb sie mehr weniger beträchtlich unter diesem Werth, ebenso, wenn die Vergleichsgewichte gleichzeitig auf symmetrische Taststellen aufgelegt wurden. Ebenso constatirte Weber nicht unerhebliche Verschiedenheiten der Feinheit des Drucksinnes an verschiedenen Stellen der Tastfläche, welche im Allgemeinen den Differenzen der Feinheit des Raumsinnes derselben gleichsinnig, jedoch bei weitem geringer gefunden wurden.

Die Differenzen der Feinheit des Drucksinnes verschiedener Hautstellen prüfte Weber nach zwei Methoden. Entweder bestimmte er an jeder verschiedenen Hautstelle für sich durch successives Auflegen der Vergleichsgewichte die kleinste wahrnehmbare Gewichtsdifferenz. Oder es wurden den zu vergleichenden verschiedenen Hautstellen gleichzeitig verschiedene Gewichte aufgelegt, und festgestellt, bei welchen Grössen des auf der einen oder der anderen liegenden Gewichts die Empfindung von der einen oder anderen stärker oder von beiden gleich stark erschien. Es liegt auf der Hand, dass nur die erste Methode vergleichsfähige Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit verschiedener Stellen des Tastorganes liefern kann, die nach der zweiten Methode erhaltenen Resultate mit

1 E. H. Weber, Annot. S. 81. Handwörterb. d. Phys. III. 2. Abth. S. 547 u. 559.

denen der ersteren eigentlich gar nicht zusammengestellt werden dürfen. WEBER vergleicht die Bestimmung der Feinheitsdifferenz des Drucksinns nach der zweiten Methode mit der Berechnung der Längenverschiedenheit der Arme einer ungleicharmigen Wage aus der Differenz der an derselben im Gleichgewicht erscheinenden Gewichte. Nach der ersten Methode fand WEBER z. B., dass bei einer Person, welche mit den letzten Fingergliedern noch zwei Gewichte, welche sich wie 20 : 19½ verhielten, als verschieden schwer erkannt, an der Mitte des Unterarms erst bei einem Verhältniss von 20 : 18,2 die Unterscheidung eintrat. Aus den Ergebnissen der zweiten Methode heben wir folgendes Beispiel hervor. Wurden in einer Reihe von Versuchen die Lippen jedesmal mit 4 Unzen, die Volarseite der letzten Fingerglieder gleichzeitig progressiv mit 4 bis 11½ Unzen belastet, so erschien die Druckempfindung von Seiten der Lippen stärker, so lange die Fingerbelastung unter 8 Unzen blieb; bei einer Fingerbelastung mit 8—9 Unzen erschien die Empfindung von beiden Theilen gleich stark, und erst über dieser Grenze erreichte die Empfindung der Finger das Uebergewicht.

Zu erwähnen ist noch, dass WEBER bei den meisten Personen eine stärkere Druckempfindung bei Belastung einer bestimmten Hautstelle der linken Körperseite als bei Belastung der symmetrischen Stelle der rechten Seite beobachtete, während die Unterschiedsempfindlichkeit zweier gleichzeitig belasteter Hautstellen derselben Seite sich links nicht grösser als rechts ergab.

Weber's Gesetz.

Das wichtigste Ergebniss der WEBER'schen Untersuchungen ist die von ihm gefundene Gleichheit der zur ebenmerklichen Verstärkung einer Druckempfindung erforderlichen relativen Reizzuwüchse bei verschiedenen absoluten Reizgrössen. WEBER selbst hat die Bedeutung dieses Befundes, welchen er trotz der Beschränkung seiner Versuche auf Unzen und Lothe für die ganze Scala der absoluten Druckgrössen als gültig annimmt, wohl erkannt und auf die Analogien hingewiesen, welche derselbe in anderen Sinnesgebieten nach seinen Versuchen oder seiner Auffassung bekannter Thatsachen findet. Er selbst stellte fest, dass auch bei der Verwendung des Muskelsinnes zur Unterscheidung von Gewichtsgrössen dem ebenmerklichen Unterschied bei verschiedenen absoluten Gewichtsgrössen stets dasselbe Verhältniss der Gewichte entspreche; er constatirte eine Analogie im Gebiete der extensiven Wahrnehmungen, indem er nachwies, dass auch bei der Vergleichung der Länge zweier Linien durch das Augenmaass dem kleinsten merklichen Längenunterschied immer die gleiche relative Differenz der wirklichen Längen entspreche und endlich glaubte WEBER ein Analogon darin zu erkennen, dass auch der kleinsten wahrnehmbaren Höhendifferenz zweier Töne bei allen absoluten Tonhöhen dasselbe Verhältniss der Schwingungszahlen ent-

spreche. Allein erst nach WEBER ist diesen seinen Fundamentalbeobachtungen, besonders seitdem FECHNER auf denselben das Gebäude seine Maassmethode der Empfindungen basirt hat, eine eingehende nach schärferen Methoden durchgeführte, alle Sinnesgebiete umfassende Experimentalprüfung gewidmet, die Frage nach ihrer Erklärung und Bedeutung eindringlich erörtert, und das wesentliche Resultat derselben unter der Bezeichnung des „WEBER'schen Gesetzes" genauer formulirt. Von diesen Fassungen führen jedoch nur diejenigen den Namen WEBER's mit Recht, welche sich streng an den thatsächlichen Inhalt seiner und aller auf gleicher Grundlage gemachten Beobachtungen halten und nicht weitergehende, selbst erst zu erweisende Interpretationen der bezüglichen Thatsachen einschliessen, wie zuerst von E. HERING[1] mit vollstem Recht hervorgehoben worden ist. In diesem Sinne ist entschieden der zuerst mit WEBER's Namen belegten, von FECHNER gegebenen Fassung, auf welche wir unten näher eingehen werden, die Berechtigung zu diesem Titel abzusprechen. In diesem Sinne kann eine generelle Zusammenfassung der WEBER'schen Befunde und ihrer Erweiterungen nur dahin lauten: dass zur ebenmerklichen Verstärkung einer Empfindung, gleichviel durch welche Reizgrösse sie hervorgerufen worden ist, stets derselbe relative Zuwachs zu dieser Reizgrösse erforderlich ist, oder: dass „der wirkliche Unterschied zweier eben merklich verschieden erscheinenden Reizgrössen proportional mit den Reizgrössen wächst" (HERING) oder ganz allgemein gefasst: dass die relative Unterschiedsempfindlichkeit von der absoluten Reizstärke unabhängig ist (G. E. MÜLLER).

Wir haben zunächst zu prüfen, ob und in welchem Grad und Umfang dem WEBER'schen Gesetz in dieser Fassung auf Grund der neueren sorgfältigen Untersuchungen eine Gültigkeit zuzuerkennen ist, speciell, da von einer eingehenden Berücksichtigung der übrigen Sinnessphären hier nicht die Rede sein kann, ob und wieweit dasselbe im Gebiete des Drucksinns zu Recht besteht. Im Allgemeinen lässt sich als Resumé dieser Prüfung aussprechen, dass der anfängliche Anschein einer bis auf kleine Einschränkungen durchgreifenden, alle Sinnesgebiete umfassenden Bewährung des Gesetzes einer gegentheiligen weiter und weiter gehenden Reduction seiner Gültigkeit gewichen ist, dass letztere nur noch in Bezug auf die Wahrneh-

1 E. HERING, Zur Lehre von der Bez. zwischen Leib und Seele. Erste Mitth. Ueb. FECHNER's psychophys. Ges. Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXII. S. 310. 1875.

mungen des Augenmaasses, insbesondere soweit dieselben durch Vermittlung des Muskelsinnes zu Stande kommen, vielleicht des Muskelsinnes überhaupt und der Schallintensitäten als mehr weniger streng erwiesen gelten kann, dass selbst in den beschränkten Territorien, welche dem Gesetz noch bleiben, sich obere und untere Grenzen der absoluten Reizgrösse, bei welchen es sich bewährt, herausgestellt haben, und endlich, dass gerade im Gebiete des Drucksinnes, in welchem WEBER seinen Grund gelegt, neuere Untersuchungen seine Geltung widerlegt oder mindestens sehr zweifelhaft gemacht haben.

Nachdem bereits LOTZE[1] und MEISSNER[2] auf die Unzulänglichkeit der auf nur zwei verschiedene absolute Reizstärken beschränkten eigenen Versuche WEBER's zur Begründung eines allgemeinen Gesetzes aufmerksam gemacht, und Zweifel ausgesprochen hatten, ob auch bei sehr geringen oder sehr hohen Belastungen der Haut z. B. mit 30 Gramm oder 30 Pfund $^1/_{30}$ Mehrgewicht die Unterschiedsschwelle des Körpers darstellen, hat zuerst DOHRN[3] die Ungültigkeit des WEBER'schen Gesetzes für niedrige absolute Druckgrade experimentell erwiesen, und zugleich bei diesen Reizgrössen beträchtlichere Differenzen der Unterschiedsempfindlichkeit verschiedener Hautstellen, als WEBER bei höheren Reizgrössen gefunden, constatirt. Er fand, dass bei Belastung der Haut mit 1 Gramm an der Volarseite der letzten Fingerglieder eine merkliche Verstärkung der Empfindung erst bei einem Zuwachs von mindestens 0,2 Gramm, also $^1/_5$ des ursprünglichen Reizes eintrat, an der Volarseite der Handfläche dieser Zuwachs bereits 0,66 Gramm betrug, am Vorderarm 1 Gramm überstieg, also erst eine Verdoppelung der Reizgrösse merklich wurde, am Rücken sogar nahezu eine Vervierfachung (3,8 Gramm Zuwachs) einen merklichen Empfindungszuwachs erzielte. Bei einem 11jährigen Knaben fiel an allen Hautstellen der Unterschiedsschwellenwerth noch viel beträchtlicher aus.

DOHRN stellte seine Versuche nach der Methode der ebenmerklichen Unterschiede in der Weise an, dass von den zwei Schalen einer Waage, die eine, mit einem Uebergewicht von 1 Grm. belastete, constant mittelst eines an ihrer Unterseite befestigten Stäbchens gegen die zu prüfende (unterstützte) Hautstelle drückte, und nun die Belastung der anderen Schale successiv so lange vermehrt oder vermindert wurde, bis eben ein Empfindungsunterschied merklich wurde. Mit Recht ist diese Methode als zu scharfen Bestimmungen des Unterschiedsschwellenwerthes untauglich, ihre Hauptfehlerquelle in der nothwendig durch die Fortdauer der

1 LOTZE, Medic. Psychol. S. 208.
2 MEISSNER, Beitr. z. Anat. u. Physiol. d. Haut. S. 33. Leipz. 1853.
3 DOHRN, Beitr. z. Druckempf. d. Haut. Ztschr. f. rat. Med. (3) X. S. 339. 1861.

Druckempfindung während der ganzen Dauer der Reizveränderung bedingten Ermüdung erkannt worden. Allein keinesfalls sind die hierdurch verursachten Fehler erheblich genug, um aus ihnen die kolossalen Abweichungen der DOHRN'schen Befunde von den Forderungen des WEBER'schen Gesetzes zu erklären, und ist durch dieselben unzweifelhaft die Ungültigkeit desselben für niedere Reizgrössen im Bereich des Drucksinnes erwiesen.

Eine ausserordentlich sorgsame, auf sechs verschiedene absolute Reizgrössen von 300—3000 Gramm ausgedehnte Prüfung des WEBER'schen Gesetzes bei der Unterscheidung von Gewichten hat FECHNER [1] nach der Methode der richtigen und falschen Fälle durchgeführt. So bedeutungsvoll diese Untersuchung für die Frage nach der Gültigkeit des Gesetzes im Allgemeinen, so kommt sie doch streng genommen hier nicht in Betracht, weil bei derselben die Einmischung des Muskelsinnes nicht ausgeschlossen, demselben im Gegentheil die Hauptrolle zugewiesen war.

Das Verfahren FECHNER's war in Kürze folgendes. Die Gewichte waren dargestellt durch zwei Gefässe, deren jedes durch variable Einlagsbelastungen in den verschiedenen Versuchsreihen auf ein „Hauptgewicht" von 300, 500, 1000, 1500, 2000, 3000 Grm. gebracht wurde, und welche an einer mit der Hand zu umfassenden Holzrolle mit freiem Arm gehoben wurden. Bei jedem Einzelversuch wurde dem einen der beiden Gefässe ein bestimmtes Zusatzgewicht, welches entweder 0,04 oder 0,08 des Hauptgewichts betrug, aufgelegt, und nun die beiden Gefässe in immer gleichem Zeitintervall hintereinander mit immer gleicher Geschwindigkeit zu immer gleicher Höhe, entweder das eine mit der rechten, das andere mit der linken Hand, oder beide mit derselben (rechten oder linken) Hand gehoben. Nach jeder Doppelhebung wurde das Ergebniss der Beurtheilung als richtiger, falscher oder zweifelhafter Fall eingetragen, und aus vielen Tausenden derartiger Einzelbeobachtungen der Unterschiedsschwellenwerth für jede der sechs verschiedenen Grössen des Hauptgewichts berechnet.

Die Ergebnisse dieser Versuche standen nicht in vollem Einklang mit dem WEBER'schen Gesetz. Der Merklichkeitsgrad der gleichen relativen Reizzuwüchse war nicht, wie dasselbe fordert, bei allen absoluten Grössen der Hauptgewichte derselbe, nahm beim Aufsteigen der Hauptgewichte von 300 zu 500 Gramm etwas ab, dann aber beim weiteren Wachsthum derselben stetig zu, um sich mehr und mehr der Gleichheit zu nähern. Während FECHNER das anfängliche Absteigen der Merklichkeit nicht bestimmt zu erklären weiss (dasselbe nur vermuthungsweise von einem bei niederen Druckgraden zur Geltung kommenden, bei höheren dagegen verdeckten Einfluss

---

1 FECHNER, Elem. I. S. 93 u. 182.

auf die Empfindlichkeit der Nervenendapparate ableitet), glaubt er die bei höheren Druckgraden beobachteten Abweichungen vom WEBER-schen Gesetz aus einer Nichtberücksichtigung des mit den Vergleichsgewichten gehobenen Armgewichts erklären zu können. In der That lässt sich leicht zeigen, dass, wenn man das constant bleibende Gewicht des Armes zu den variabeln Hauptgewichten hinzurechnet, das Verhältniss der nur den letzteren relativ gleich gemachten Zusatzgewichte zu dem Gesammtgewichte sich verkleinert, aber um so weniger, je grösser das Hauptgewicht, je weniger also die Vermehrung desselben durch das Armgewicht in Betracht kommt, dass demnach die beobachtete Zunahme der Merklichkeit und deren Annäherung an die Gleichheit möglicherweise lediglich durch die factische aber immer geringer werdende Zunahme der Gewichtsdifferenz beim Steigen der Hauptgewichte bedingt sein könnte. Allein selbst wenn eine Berücksichtigung des Armgewichts in diesem Sinne vollkommen gerechtfertigt, und eine dementsprechende Correctur in der Berechnung der Versuchsergebnisse oder in der Abmessung der Zusatzgewichte die gefundenen Werthe der Unterschiedsempfindlichkeit dem WEBER'schen Gesetz genau entsprechend machte, so würde dadurch die Gültigkeit desselben, wie FECHNER selbst anerkennt, doch eben nur für den Muskelsinn, nicht für den Drucksinn erwiesen sein, da selbstverständlich auf die von den gehobenen Gewichten erzeugten Druckempfindungen das Armgewicht nicht in Betracht kommt.

FECHNER selbst wirft die Frage auf, ob es zulässig sei, die Belastung des Armes durch sein eigenes Gewicht in derselben Weise, wie ein äusseres von ihm gehobenes Gewicht in Anschlag zu bringen, und macht darauf aufmerksam, dass bei einer Berücksichtigung des Armgewichts zu bedenken sei, dass dasselbe an einem kürzeren Hebelarm, als das von der Hand getragene Gewicht wirke. G. E. MÜLLER[1] weist darauf hin, dass dieses Armgewicht bei kleinen und grossen Belastungen der Hand nicht in derselben Grösse in Rechnung gebracht werden dürfe. Bei sehr kleinen Belastungen würde nur der Muskelsinn der Handmuskeln in Anspruch genommen, für diese also auch nur die Schwere der Hand in Betracht kommen, bei steigender Belastung würde zunächst der Muskelsinn gewisser Oberarmmuskeln und zuletzt erst derjenige der Schultermuskeln zur Taxirung der Gewichte verwendet werden und demgemäss zunächst einer Berücksichtigung des Vorderarmgewichts und zuletzt des ganzen Armgewichts erfordern.

Die neueste Prüfung des WEBER'schen Gesetzes im Bereich der Unterschiedsempfindlichkeit für Gewichte ist von BIEDERMANN und LÖWIT[2] auf Veranlassung HERING's nach der Methode der ebenmerk-

1 G. E. MÜLLER, Zur Grundl. d. Psychophys. S. 202.
2 E. HERING, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXII. S. 342. 1875.

lichen Unterschiede ausgeführt worden. Es zerfallen diese Versuche in drei Reihen. Bei der einen hier nicht in Betracht kommenden, wurde nach einem von Weber benutzten Verfahren, von welchem unten die Rede sein wird, ausschliesslich der Muskelsinn zur Vergleichung der Gewichte verwendet. Bei einer zweiten wurde umgekehrt nach Weber's Methode der Drucksinn von einer Einmischung des Muskelsinnes dadurch isolirt, dass die zu prüfenden Gewichte in allen Versuchen aus einer gleichen minimalen Höhe auf die unterstützte Fingerfläche herabfielen. Leider sind gerade von dieser Reihe die Ergebnisse nicht speciell mitgetheilt und nur angegeben, dass sie keine Uebereinstimmung mit dem Weber'schen Gesetz zeigten. Bei einer dritten Reihe wurden die Vergleichsgewichte auf eine Pappscheibe gelegt, welche mit Daumen und Zeigefinger an einem kleinen Holzgriff gehoben wurde, während der Arm frei ausgestreckt war. Die Ergebnisse dieser Reihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt, in welcher die erste Verticalreihe die jeweiligen Hauptgewichte, die zweite das bei jedem derselben zur ebenmerklichen Verstärkung der Empfindung erforderliche Zusatzgewicht, die dritte die entsprechenden Verhältnisse der Zusatzgewichte zu den Hauptgewichten, mithin die Werthe für die Unterschiedsempfindlichkeit enthält.

10 Grm.	0,7 Grm.	$^1/_{14}$
50 "	1,7 "	$^1/_{29}$
100 "	2,4 "	$^1/_{42}$
200 "	3,6 "	$^1/_{56}$
300 "	4,6 "	$^1/_{65}$
400 "	5,2 "	$^1/_{77}$
450 "	6,5 "	$^1/_{69}$
500 "	25,5 "	$^1/_{20}$

Die Tabelle lehrt, dass die Unterschiedsempfindlichkeit bei diesen Versuchen im Widerspruch mit dem Weber'schen Gesetz anfangs beim Anwachsen der absoluten Reizgrösse von 10—400 Grm. erheblich zunimmt, um dann bei weiterer Verstärkung derselben rasch wieder abzunehmen (und zwar bei der letzten geringen Vermehrung des Hauptgewichts um 50 Grm. in kaum glaublichem Maasse). Es fragt sich nur, ob in diesen Versuchen wirklich der Drucksinn allein in Anspruch genommen war und somit durch die Ergebnisse der Beweis der Ungültigkeit des Weber'schen Gesetzes in seinem Gebiete als erbracht angesehen werden darf. Hering führt für die ausschliessliche Thätigkeit des Drucksinnes an, dass bei den betreffenden Versuchspersonen alle Aufmerksamkeit auf die an den Finger-

spitzen entstehenden Empfindungen gerichtet war, und dass, wenn man eine Einmischung des Muskelsinnes statuiren und in diesem Sinn nach FECHNER durch Einrechnung des Armgewichts eine Correctur zu Gunsten des Gesetzes vornehmen wollte, nur dann eine leidliche Uebereinstimmung mit letzterem erzielt wurde, wenn man das Armgewicht nur mit 100 Grm. in Rechnung brächte, während es doch mindestens 1500 Grm. beträgt. Indessen bietet die Concentration der Aufmerksamkeit auf die Fingerempfindungen keine genügende Bürgschaft dafür, dass sich nicht unbewusst wenigstens die Empfindungen der bei der Hebung der Hand thätigen Unterarmmuskeln an der Bildung des Urtheils betheiligt haben, und für diese dann das Gewicht der Hand unter Berücksichtigung des kürzeren Hebelarms, an welchem es wirkte, in Rechnung zu bringen sei. Giebt man dies zu, so dürfte der zu den Hauptgewichten zu addirende Correctionszuwachs nicht allzuweit von 100 Grm. entfernt liegen.

Aus allen im Vorstehenden mitgetheilten Untersuchungen geht demnach entschieden hervor, dass sich die Gültigkeit des WEBER'schen Gesetzes im Gebiete des Drucksinnes nicht nur nicht bestätigt hat, sondern äusserst unwahrscheinlich geworden ist, dass allerdings die Reizzuwüchse, welche zur eben merklichen Verstärkung einer Druckempfindung nothwendig sind, mit den absoluten Druckgrössen wachsen aber nicht den letzteren proportional, d. h. eben nicht nach dem WEBER'schen Gesetz. Zur sicheren Construction eines anderen an die Stelle des letzteren tretenden Gesetzes der Unterschiedsempfindlichkeit reichen die vorliegenden Data noch nicht aus.

Die Deutung des eben präcisirten Verhaltens der Unterschiedsempfindlichkeit, mit anderen Worten die Erklärung des WEBER'schen Gesetzes oder des an seine Stelle zu setzenden Gesetzes, erscheint so lange wir uns streng an den Inhalt desselben halten, als eine verhältnissmässig einfache Aufgabe der Psychologie. Gehen wir von der theoretisch und teleologisch unstreitig wahrscheinlichsten und mit den Thatsachen der Sinneswahrnehmung am einfachsten zu vereinbarenden Voraussetzung aus, dass jede Empfindung bei successiver Steigerung des ursächlichen Reizes jenseits der Reizschwelle stetig, dem Reiz proportional wächst, so besagt das WEBER'sche Gesetz oder sein Ersatzgesetz nichts Anderes, als dass das Auffassungsvermögen der Seele für die Intensitätsänderungen des einfachen Empfindungsprocesses nicht von unbegrenzter Feinheit ist, dass dieselbe nicht jede beliebige kleinste Verstärkung oder Schwächung eines solchen zu unterscheiden vermag, sondern die Intensi-

tätsänderungen, um deutlich ins Bewusstsein zu treten, eine bestimmte endliche Grösse erreichen müssen, welche um so beträchtlicher ist, je grösser die Anfangsintensität der Empfindung, von welcher sie ausgehen. Diese Interpretation des Gesetzes fusst auf dem neuerdings mehr und mehr befestigten und meines Erachtens unabweislichen Lehrsatz der Psychologie, dass eine einfache Empfindung, das unmittelbare Resultat der Einwirkung einer Nervenerregung auf einen Empfindungsapparat, und die Vorstellung einer solchen Empfindung in bestimmter Qualität und Intensität zwei verschiedene Dinge sind, die Einführung einer Empfindung in das Bewusstsein ein besonderer, nicht nothwendig an jede Empfindung sich anknüpfender Act ist, mit anderen Worten auf der Scheidung unbewusster und bewusster Empfindungen. Eine ausführliche Rechtfertigung dieser Trennung kann hier nicht unsere Aufgabe sein. Sie leitet sich zwangsmässig aus der evidenten alltäglichsten Erfahrungsthatsache ab, dass von den zahllosen äusseren und inneren Reizvorgängen, welche nachweisbar in buntester Mischung beständig gleichzeitig auf den gespannten Empfindungsapparat einwirken, immer nur ein kleiner Bruchtheil in eine mehr weniger deutliche bewusste Empfindung umgesetzt wird, und dass wir das Vermögen besitzen, durch eine willkürliche Anstrengung der Seele, die wir Aufmerksamkeit nennen, dem einen oder dem anderen Reizerfolg von dieser oder jener Modalität und Qualität, von jeder beliebigen Intensität den Eintritt ins Bewusstsein zu verschaffen, soweit sich nicht der eine oder der andere durch grosse Intensität oder andere Momente, welche ihm die Präponderanz verschaffen, den Eintritt selbst erzwingt. Anzunehmen, dass die Beschränkung der Umsetzung in bewusste Empfindungen auf einen Theil der gleichzeitigen Reize darauf beruhe, dass immer, wo ein Theil dieser gleichzeitigen dem Hirn zufliessenden Erregungen überhaupt wirksam werde, bereits in den ersten Endstationen der Sinnesnerven, den Ganglienzellen, in welchen sie endigen, Hemmungen vorhanden sind, welche beseitigt werden müssen, um die Auslösung einer einfachen Empfindung zu ermöglichen, und dass die Wirkung der Aufmerksamkeit in der einseitigen Aufhebung dieser Widerstände bestehe, scheint mir physiologisch äusserst unwahrscheinlich, um so mehr, als die Aufmerksamkeit selbst den schwächsten Erregungen wie sie z. B. den subjectiven Hautgefühlen zu Grunde liegen den Vorzug im Bewusstsein zu verschaffen und umgekehrt selbst sehr intensive Erregungen von dem Bewusstsein abzublenden vermag. Weit wahrscheinlicher ist es, dass es sich um Widerstände handelt, welche irgendwo auf den von den Empfindungsherden zu den Organen

der bewussten Verarbeitung der Empfindungen führenden Wegen oder in letzteren selbst liegen, dass das Bewusstsein gewissermaassen zu eng ist, um alle Zuflüsse von den Empfindungsstationen gleichzeitig zu fassen, oder dass die ihnen zur Verarbeitung der Empfindung verfügbare Kraftsumme zu gering ist, um alle gleichzeitig in Vorstellungen, Urtheile u. s. w. umzusetzen, dass daher, wenn durch eine physiologisch durchaus noch nicht definirbare Thätigkeit der sogenannten Aufmerksamkeit der einen oder der anderen der concurrirenden Empfindung der Zugang zu den Werkstätten des Bewusstseins erschlossen ist, er den übrigen abgesperrt ist. Wie dem auch sein möge, sobald wir zugestehen, dass die bewusste Vorstellung von den Empfindungen, also auch die Beurtheilung ihrer Intensität ein besonderer secundärer psychischer Act ist, können wir uns auch vorstellen, dass diese Beurtheilung in dem Sinne, wie wir es oben aussprachen und wie es dem Inhalt des Unterschiedsempfindlichkeitsgesetzes entspricht, unvollkommen ist. Das Bewusstsein besitzt ja keinen absoluten Maassstab, den es an die eintretenden Empfindungen anlegen, an denen es ihren absoluten Intensitätswerth, die Zahl der sie zusammensetzenden Einheiten ablesen könnte, es beurtheilt zunächst nur ob sich eine Empfindung stärker oder schwächer als die andere aufdrängt, ob dieser Unterschied gross oder klein, und diese Unterscheidung relativer Intensitäten hat eben gewisse Grenzen, welche durch Uebung zwar verschoben aber nicht ganz beseitigt werden können. Weil aber diese Beurtheilung der Intensitäten zunächst nur eine relative nur eine Auffassung von Verhältnissen ist, erscheint es als selbstverständlich, dass der wirkliche Unterschied zweier im Bewusstsein eben als verschieden erkannter Empfindungsintensitäten mit den absoluten Intensitäten, indirect also mit den absoluten Reizgrössen, denen sie proportional sind, wächst, wenn auch nicht streng proportional, wie das Weber'sche Gesetz verlangt. Die eben erörterte Unvollkommenheit der bewussten Auffassung der Grössenwerthe psychischer Grundvorgänge beschränkt sich auch keineswegs auf die Beurtheilung von Empfindungsstärken, sondern kehrt bei allen analogen Thätigkeiten des Bewusstseins wieder. Wir werden ihr wiederbegegnen im Gebiete der extensiven Wahrnehmungen beim Raumsinn der Haut, d. h. bei der Auffassung der Zahl- und Werthdifferenzen der irgendwie beschaffenen psychischen Zeichen (Localzeichen), welche, die Druck- oder Temperaturempfindungen begleitend, ihre räumliche Auslegung vermitteln. Sie zeigt sich sehr evident in allen Fällen, wo es sich nicht um die Intensität eines Eindruckes, auch nicht um die Extensität d. h. die Zahl einer Reihe

gleichzeitiger Eindrücke, sondern um die Auffassung der Zahl einer Reihe hintereinanderfolgender Eindrücke handelt, wie folgendes Beispiel lehrt. Lassen wir einen schwingenden Hammer in regelmässigen, verschieden grossen Zeitintervallen auf eine Glocke auffallen, so dass wir sowohl mit dem Auge die Einzelbewegungen des Hammers, als mit dem Ohr die aufeinanderfolgenden Töne gesondert wahrnehmen, so werden wir bei sehr langsamer Folge die in gegebener Zeit z. B. einer Secunde erfolgenden Schwingungen direct zählen und somit sehr genau das Zahlenverhältniss derselben in zwei aufeinander folgenden Reihen bestimmen können. Beschleunigen wir die Hammerbewegung, so kommen wir zu einem Punkt, wo wir zwar die einzelnen Excursionen eben nicht mehr direct zählen können, die Summe derselben in gegebener Zeit aber noch so genau taxiren, dass wir die Verschiedenheit der Geschwindigkeit ihrer Folge mit Sicherheit auffassen, wenn der Hammer z. B. einmal 10, das andere Mal 11 Schwingungen in der Secunde ausführt. Je mehr sich die Bewegung beschleunigt, desto grösser wird die wirkliche Differenz der eben noch als verschieden erkannten Summen von Schwingungen, und wenn sich z. B. herausstellte, dass wir bei 100 Schwingungen in der Secunde eine Zunahme der Geschwindigkeit erst bei einem Zuwachs von 10 Schwingungen erkennen, so wäre damit eine Bestätigung des WEBER'schen Gesetzes für den „Zeitsinn" geliefert.

Es bedarf keines ausdrücklichen Zugeständnisses, dass die im Vorstehenden gegebene „psychologische" Erklärung des factischen Verhaltens der Unterschiedsempfindlichkeit keine erschöpfende ist, dass dieselbe einer Uebersetzung in die exacte Sprache der Physiologie noch durchaus unzugänglich ist.

Fechner's Gesetz.[1]

Fundamental-verschieden von der erörterten ist die Auslegung des WEBER'schen Gesetzes, welche FECHNER gegeben, und auf welche derselbe mit grösstem Scharfsinn und tadelloser Folgerichtigkeit weiterbauend sein epochemachendes „psychophysisches Maassverfahren" begründet hat, eine Auslegung, welche indes-

1 Anmerkung der Redaction. Der Verfasser hat das psychophysische Gesetz einer ausführlichen Erörterung unterworfen, obgleich dieser Gegenstand nach dem Programm in den zweiten Band verwiesen war, und auch daselbst behandelt ist. Als das Manuscript einging, war FUNKE schon in einem solchen Zustande, dass Verhandlungen unmöglich waren, und auf eigene Hand in einer mit so grosser Sorgfalt ausgeführten Arbeit Veränderungen vorzunehmen, konnte ich mich weder während der Krankheit noch vollends nach dem Tode des Verfassers entschliessen. Dem Leser wird übrigens die doppelte Behandlung eines so streitigen Gegenstandes nicht unwillkommen sein, zumal die beiden Bearbeiter in ihren Urtheilen von einander abweichen.

sen auf einer neuen, durchaus nicht unmittelbar mit den empirischen Unterlagen des Gesetzes gegebenen Voraussetzung ruht, und daher mit dieser Voraussetzung steht und fällt. Dieselbe besteht darin, dass Fechner die eben merklichen Zuwüchse, welche nach Weber die Empfindung bei allen verschiedenen absoluten Reizgrössen durch relativ gleiche Reizzuwüchse erfährt, als gleich gross annimmt, in ihnen gleichgrosse elementare Einheiten des Empfindungsvorganges erblickt, dass er, um ein concretes Beispiel anzuführen, den Zuwachs, welchen die Druckempfindung erfährt, wenn wir die auf einer Hautstelle ruhende Last von 29 Gramm auf 30 Grm. erhöhen, für absolut gleich gross mit demjenigen Zuwachs erklärt, welcher bei der Zulage von 1 Pfund zu 29 Pfund Belastung entsteht. Auf Grund dieser Voraussetzung formulirt Fechner das Weber'sche Gesetz dahin, dass relativ gleich grossen Reizzuwüchsen absolut gleich grosse Empfindungszuwüchse entsprechen. Mit vollem Recht hat zuerst Hering hervorgehoben, dass dem so formulirten Gesetz die Bezeichnung als Weber'sches Gesetz nicht zukommt. Während Weber einen Satz über die Beziehungen zwischen Empfindungs- und Reizgrösse überhaupt nicht aufgestellt hat, und seine grundlegenden Beobachtungen an sich die Ableitung eines solchen überhaupt nicht gestatteten, hat Fechner durch Zuhülfenahme der Prämisse von der Gleichheit der eben merklichen Empfindungszuwüchse den Ausdruck seines Gesetzes, das wir zur Unterscheidung in der Folge als das Fechner'sche Gesetz bezeichnen werden, in die Thatsachen erst hineingelegt, dieselben zu beweisen für den Satz umgewandelt, dass die Empfindungen nicht in dem von uns vorausgesetzten Verhältniss der Proportionalität, sondern logarithmisch mit der Intensität des Reizes wachsen. Die Art und Weise, wie Fechner aus dieser vermeintlichen Beziehung zwischen Reiz- und Empfindungsgrössen seine Maassformel für die Berechnung der Empfindungsgrössen aus den zugehörigen Reizgrössen construirt hat, müssen wir hier als bekannt voraussetzen. Wir bemerken nur, dass das Princip derselben durch die weitgehenden Einschränkungen der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes nicht alterirt wird; wo dasselbe sich nicht bewährt, tritt an seine Stelle irgend welche andere, empirisch festzustellende, gesetzmässige Beziehung der ebenmerklichen Empfindungszuwüchse zum Wachsthum des Reizes. Es würde uns ferner weit über die uns gestellten Grenzen hinausführen, wollten wir uns auf eine erschöpfende Analyse des Fechner'schen Gesetzes und Kritik der von ihm selbst und Anderen unternommenen Versuche, die in demselben ausgesprochene auffallende

Beziehung zwischen Reiz- und Empfindungsgrössen „psychophysisch“ oder „physiologisch“ zu erklären, einlassen.[1] Für uns handelt es sich vornehmlich darum, im Allgemeinen die Berechtigung des FECHNER'schen Gesetzes und sein eventuelles Vorzugsrecht vor der von uns vertretenen Annahme der Proportionalität zwischen Reiz- und Empfindungsgrössen zu prüfen, da selbstverständlich die Erkenntniss der wahren Beziehung zwischen beiden für die Beurtheilung der Leistungen des Drucksinnes als Lehrer über objective Grössenverhältnisse von wesentlichster Bedeutung ist.

Es ist vor allem hervorzuheben, dass für die Richtigkeit der Voraussetzung, dass alle eben merklichen Empfindungsunterschiede gleich gross seien, weder von FECHNER noch von einem anderen Vertheidiger seines Gesetzes irgend ein haltbarer Beweis erbracht worden ist. Wenn FECHNER behauptet, diese gleiche Grösse sei ein directes Wahrnehmungsergebniss, die eben merklichen Unterschiede erschienen wirklich für die Empfindung gleich gross, so halte ich das für eine Selbsttäuschung, eine solche Beurtheilung überhaupt für eine Unmöglichkeit. Wenn WUNDT folgendermaassen raisonnirt: „ein solcher eben merklicher Intensitätsunterschied ist ein psychischer Werth von constanter Grösse; denn wäre einer derselben grösser oder kleiner als ein anderer, so wäre er grösser oder kleiner als eben merklich, was ein Widerspruch ist“, so ist dies nicht wie er behauptet ein absoluter Beweis für die gleiche Grösse der eben merklichen Unterschiede, sondern wie ihm bereits BRENTANO und MÜLLER entgegengehalten haben, ein ungültiger Zirkelschluss. Wenn MÜLLER HERING gegenüber ausspricht, dass die Annahme gleicher Grösse gleich merklicher Empfindungszuwüchse a priori die einfachste und naheliegendste Voraussetzung sei, so kann ich das weder an sich zugestehen, noch wünschen, dass die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme in die Wage gelegt werden darf gegenüber der Wahrscheinlichkeit des proportionalen Wachsthums der Empfindungen mit den Reizen, auf welche HERING's Raisonnement gegen das FECHNER'sche Gesetz sich stützt. Meines Erachtens liegt im Gegentheil die grössere aprioristische Wahrscheinlichkeit auf Seiten der Annahme, dass ein Empfindungszuwachs, um merklich zu werden, im Allgemeinen um so grösser sein muss, je intensiver die Empfindung bereits ist, wie,

1 Wir verweisen in dieser Beziehung ausser auf die bereits citirten Arbeiten von FECHNER, HERING, G. E. MÜLLER noch auf folgende: BERNSTEIN, Z. Theor. d. FECHNER'schen Ges., Arch. f. Anat. u. Phys. 1868. S. 388 und: Unters. üb. d. Erregungsvorg. im Nerven- u. Muskelsyst. Heidelb. 1871; WUNDT, Grundz. d. physiol. Psychologie S. 282; BRENTANO, Psychol. vom empir. Standp. S. 88. Leipzig 1874; LANGER, Grundlagen d. Psychophys. Jena 1876.

um einen trivialen Vergleich anzustellen, der Zuwachs eines Groschens in der gefüllten Börse des Reichen unmerklich verschwindet, während er im Beutel des Armen eine beachtenswerthe Fortune morale darstellt. Es wird doch, um nochmals auf das Beispiel von den Hammerschwingungen zurückzukommen, gewiss Niemand behaupten wollen, dass wenn wir in einem Fall 10 von 11 Schwingungen in der Secunde, im andern 100 von 110 eben merklich unterscheiden, der Zuwachs des psychischen Processes, auf welchen sich die Beurtheilung des Unterschiedes gründet, in beiden Fällen gleich gross sei, dass nicht das Plus von zehn Empfindungsstössen in der Secunde einen grösseren Zuwachs darstelle, als das Plus von einem.

In überzeugender Weise hat meines Dafürhaltens E. HERING die Unhaltbarkeit des FECHNER'schen Gesetzes aus seinen eigenen Consequenzen demonstrirt, gezeigt, dass die thatsächliche, wenigstens annähernd richtige Vorstellung, welche wir durch unsere Sinne von dem Verhältniss extensiver und intensiver Grössen in der Aussenwelt erhalten, unmöglich bei einem logarithmischen sondern nur bei einem proportionalen Wachsthum der Empfindung mit den Reizgrössen gewonnen werden kann, dass wir nur durch ein proportionales Wachsthum beider direct in den Stand gesetzt werden, unseren willkürlichen Kraftaufwand nach der Grösse der durch ihn zu überwindenden äusseren Kräfte richtig zu bemessen. Ich kann nicht zugeben, dass diese klaren Argumentationen HERING's durch die dagegen von FECHNER und MÜLLER erhobene Polemik erschüttert oder gar widerlegt sind. Nach HERING ist es eine logische Consequenz des FECHNER'schen Gesetzes, dass wenn man in einem Fall zu einer Belastung der Haut von 100 Grm. weitere 100 Grm. und in einem zweiten Fall zu einer Belastung von 1000 Grm. weitere 1000 Grm. hinzufüge, in beiden Fällen der Zuwachs gleich gross erscheinen müsste, was thatsächlich keineswegs der Fall ist und zu der gröbsten Täuschung über äussere Gewichtsverhältnisse führen müsste. Die Schlussfolgerung HERING's ist unanfechtbar. Denken wir uns einerseits der Last von 100 Grm. zunächst soviel zugelegt, dass ein eben merklicher Empfindungszuwachs eine Vermehrung der Empfindungsgrösse um eine elementare Einheit entstünde, dann die Last wieder successiv soweit gesteigert, bis die zweite eben merkliche Verstärkung der Empfindung einträte und so fort, so wird der Vermehrung der Belastung um 100 Grm. also um ihre ursprüngliche Grösse eine ganz bestimmte Anzahl solcher elementarer Empfindungszuwüchse, welche nach FECHNER unter sich gleich gross sind, entsprechen. Verfahren wir nun andererseits genau ebenso bei einer

ursprünglichen Belastung von 1000 Grm., so haben wir wiederum, wenn wir bei ihrer Verdoppelung angelangt sind, eine Anzahl elementarer Zuwüchse an die ursprüngliche Empfindung angebaut. Da nun nach dem Weber'schen Gesetz diese Anzahl genau so gross sein muss, wie im ersten Fall und nach dem Fechner'schen Gesetz diese einzelnen Zuwüchse nicht nur unter sich, sondern auch mit denen der ersten Reihe gleich gross sind, müssen die 1000 Grm., welche wir den 1000 Grm. zulegen uns ebenso schwer erscheinen, wie die 100 Grm., welche wir den 100 Grm. zulegen; die 1000 Grm. Zulage erscheinen uns aber in Wirklichkeit weit schwerer als die 100 Grm. Zulage, folglich muss der der Beurtheilung ihrer Grösse zu Grunde liegende Empfindungszuwachs auch grösser sein, folglich können, wenn wir uns denselben in der beschriebenen Weise successiv aufgebaut denken, die einzelnen Bausteine, d. i. die eben merklichen Empfindungszuwüchse, nicht gleich gross sein. Müller sucht dieses Hering'sche Raisonnement folgendermaassen zu entkräften. Das Fechner'sche Gesetz besage nur, dass bei gleichen relativen Reizzuwüchsen die Empfindungszuwüchse gleich gross seien, aber nicht, dass uns die Reizzuwüchse, welche diese gleich grossen Empfindungszuwüchse bewirken, ebenfalls gleich gross erscheinen müssten! Wir hätten die vielfältige Erfahrung gemacht, dass ein Gewicht von bestimmter Schwere, wenn es zu anderen bereits vorhandenen Belastungen hinzugefügt werde, einen um so weniger merklichen Zuwachs erzeuge, je grösser die letzteren bereits seien, und dass Gewichte, welche zu vorhandenen Lasten zugefügt, gleich merkliche Empfindungszuwüchse bewirkten, um so grösser seien, je beträchtlicher die vorhandene Last, und so lernten wir allmählich einen gleich merklichen Zuwachs der Empfindung auf einen um so grösseren Reizzuwachs zu beziehen, je beträchtlicher die ursprüngliche Empfindungsintensität, zu welcher jener hinzukommt. Welche unübersehbar langwierige und complicirte Erfahrungsschule müssten wir durchmachen, ehe wir dahin kämen, nicht allein die unbedingt natürlichste, von selbst sich aufdrängende Vorstellung, dass gleichen Empfindungszuwüchsen gleiche Reizzuwüchse entsprechen, überhaupt Lügen zu strafen, sondern auch in der ganzen Breite der Intensitätsscala der Empfindungen eine den objectiven Verhältnissen einigermaassen entsprechende Correctur jener Trugvorstellung mit einiger Sicherheit in jedem gegebenen Fall auszuführen! Auf welchem Wege sollten wir überhaupt zu diesem Erfahrungsschatz gelangen, da weder der Muskelsinn noch der Gesichtssinn, deren unmittelbare Aussagen ja nach Fechner in dem gleichen Widerspruch zu den objectiven Verhält-

nissen stehen, belehrend eintreten, die Aussage des Drucksinnes corrigiren könnten. Man sollte meinen, dass nur umfassende methodische Versuchsreihen mit bekannten Gewichten Aussicht böten, zu einer richtigen Beurtheilung objectiver Gewichtsverhältnisse trotz des Fechner'schen Gesetzes zu gelangen. Wie einfach und natürlich ergiebt sich dagegen eine solche, wenn wir die durch nichts erwiesene Voraussetzung, auf welche jenes Gesetz basirt ist, fallen lassen und an ihre Stelle die weit plausiblere Annahme der Proportionalität zwischen Empfindungs- und Reizgrössen setzen! Wir übertragen dann einfach in derselben Weise wie wir die Qualitäten der Empfindungen in die vorgestellten Empfindungsobjecte verlegen, die Intensitäten derselben auf die objectiven Empfindungsursachen, das bewusstwerdende Verhältniss zweier Druckempfindungsintensitäten auf das Gewichtsverhältniss der drückenden Objecte. Der Seele überhaupt das Vermögen abzusprechen, Unterschiede und Verhältnisse von Gewichtsempfindungen aufzufassen, erscheint mir schlechterdings unberechtigt. Eine solche Auffassung ist entschieden von Haus aus vorhanden, wenn auch in noch so unvollkommenem Maasse oder auch keine Rede davon ist, dass wir ohne Weiteres das aufgefasste Verhältniss zweier Empfindungsstärken in Zahlen auszudrücken vermöchten. Ganz sicher sind wir ohne alle Erfahrungshülfe im Stande, die Druckempfindungen, welche durch Belastung der Haut mit 100, 200, 500 und 1000 Grm. erzeugt werden, nicht allein in Bezug auf ihre Intensität in eine den Belastungen entsprechende Reihe zu ordnen, sondern auch zu erkennen, dass der Unterschied der Intensitäten, welche zu 500 und 1000 Grm. gehören sehr viel grösser ist, als derjenigen, welche zu 200 und 500 Grm. gehören u. s. f. und dass ersterer Unterschied sich etwas aber wenig vergrössert, wenn wir 1100 statt 1000 Grm. mit 500 Grm. vergleichen, das ist aber eben eine Auffassung von Verhältnissen der Empfindungsstärken.

Ebenso klar zeigt Hering, dass nur aus der Annahme der Proportionalität zwischen Gewichts- und Empfindungsgrösse sich in ungezwungener Weise die Thatsache erklärt, dass wir den verschiedenen Gewichtsgrössen entsprechend den Kraftaufwand unserer Muskeln, durch welche wir dieselben überwinden, welche wir z. B. verwenden müssen, um ein Gewicht von 1000 Grm. ebensoweit zu werfen, wie 100 Grm., auch ohne umständliche Uebung und Erfahrung annähernd richtig bemessen. Wüchsen die Gewichtsempfindungen logarithmisch mit den Gewichten, so müsste man zur Erklärung dieser Thatsache die äusserst unwahrscheinliche und unerweisliche Hülfshypothese machen, dass dieses Missverhältniss dadurch compensirt würde, dass

zwischen der Grösse des Willensimpulses und der dadurch ausgelösten Kraftentwicklung der Muskeln das umgekehrte logarithmische Verhältniss bestände, d. h. dass letztere gleich den Zahlen wachse, wenn erstere nur gleich den Logarithmen zunehme. Sehr spät und schwer würden wir, wenn wir von dieser Hypothese Abstand nehmen, die richtige Kraftbemessung erlernen, sobald wir zuvor erst auf dem oben angedeuteten Erfahrungsweg die ursprünglichen Trugangaben des Drucksinnes über objective Gewichtsverhältnisse zu corrigiren lernen müssten.

Denjenigen, welche dem FECHNER'schen Gesetz Gültigkeit zuerkennen, stellt sich die weitere schwierige Aufgabe, die darin ausgesprochene, an Analogien mindestens sehr arme logarithmische Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, Reiz und Empfindung zu erklären, nachzuweisen, in welchem Glied der zwischen Reiz und Empfindung befindlichen Kette von Vorgängen dieselbe an die Stelle der proportionalen Beziehung tritt. Da wir diese Anerkennung nicht theilen, dürfen wir uns auf eine gedrängte Skizze des heutigen Standpunktes dieser Frage beschränken.

Die zwischen Reiz und Empfindung liegende vermittelnde Processkette gliedert sich in folgende Einzelvorgänge; erstens in den durch den äusseren Reiz hervorgerufenen inneren Sinnesreiz, welcher von ersterem wesentlich verschieden sein kann, im Auge z. B. vermuthlich ein chemischer Vorgang, welcher die Lichtätherbewegung erzeugt, ist, zweitens den durch diesen inneren Reiz geweckten überall identischen Nervenerregungsvorgang, drittens den durch diesen wiederum ausgelösten, seinem Wesen nach noch völlig unbekannten, in jeder Sinnessphäre specifisch verschiedenen physischen Process in den Endapparaten, den Ganglienzellen, in welchen die Sinnesnervenfasern endigen, welcher letztere Vorgang die unmittelbare Unterlage des psychischen Processes der Empfindung ist, und daher von FECHNER mit dem Namen „psychophysischer Process" bezeichnet worden ist. Die Erklärungsversuche des FECHNERschen Gesetzes zerfallen, dieser Gliederung entsprechend, in zwei Gruppen, in physiologische, welche irgend einem der aufgezählten physischen Glieder eine logarithmische Abhängigkeit von seinem Vorgänger zuerkennen und in psychophysische, welche zwischen diesen Gliedern Proportionalität voraussetzen und das logarithmische Verhältniss erst zwischen dem psychophysischen Endglied und dem psychischen Empfindungsvorgang statuiren. Der Begründer der letzteren Hypothese ist FECHNER selbst, sein Gesetz im Sinne dieser Hypothese ausgesprochen, lautet daher dahin, dass die Empfindungs-

stärke in arithmetischer Progression wächst, wenn die psychophysische Thätigkeit in geometrischer Progression zunimmt, oder dass die Empfindungsintensität logarithmisch mit der Intensität des psychophysischen Vorganges wächst. Zu dieser Auffassung ist FECHNER zunächst auf dem Wege der Ausschliessung gelangt. Weil es ihm „im Sinne der physikalischen und physiologischen Gesetze undenkbar ist", dass zwischen physischen Vorgängen, wie sie der Reiz und die physiologischen Glieder der Kette bis zum psychophysischen Process repräsentiren, eine andere Beziehung als die der Proportionalität bestehe, sieht er sich genöthigt, die von seinem Gesetz geforderte logarithmische Beziehung zwischen Leib und Seele, zwischen dem Endglied der physiologischen Kette und dem psychischen Process der Empfindung zu suchen, zwischen welchen ihm bei ihrer angeblich wesentlichen Verschiedenheit eine solche Beziehung sehr wohl denkbar erscheint. Mit Recht ist FECHNER entgegengehalten worden, dass a priori eine Abweichung der Beziehung zwischen psychischem und psychophysischem Vorgang von der Proportionalität mindestens ebenso unwahrscheinlich ist, wie für die Beziehung der einzelnen physiologischen Glieder zu einander, da zwischen beiden ein ebenso unmittelbares Causalitätsverhältniss besteht, wie zwischen jenen, abgesehen von der materialistischen Anschauung, welche psychophysischen und psychischen Process für identisch erklärt, abgesehen von FECHNER's eigener Auffassung, nach welcher beide nur verschiedene Erscheinungsweisen desselben Wesens sind. Von den positiven Gründen, durch welche FECHNER seine psychophysische Erklärung zu stützen sucht, ist kein einziger beweiskräftig, so z. B. nicht die Thatsache der Reizschwelle, welche FECHNER als eine nothwendige Forderung seiner Erklärung hinstellt, für welche er dagegen mit Unrecht, wie wir oben gesehen haben, die Möglichkeit einer physiologischen Erklärung leugnet. Auf der anderen Seite ist es aber auch nicht gelungen, eine haltbare physiologische Erklärung des FECHNER'schen Gesetzes an die Stelle der physiopsychischen zu setzen, das Bestehen der Proportionalität zwischen Reiz und Nervenerregung oder dieser und dem psychophysischen Process in den Ganglienzellen zu widerlegen, oder gar die logarithmische Abhängigkeit je zweier solcher Glieder von einander zu erweisen, oder nur wahrscheinlich zu machen. Solange wir kein brauchbares directes Maass für die Stärke der Nervenerregung und für den noch gänzlich unnahbaren Vorgang in den Empfindungszellen haben, wird eine strenge Beweisführung für die eine oder die andere Art der Beziehung derselben zu einander überhaupt unmög-

lich sein. Einen originellen und geistreichen Versuch, das Weber'sche Gesetz physiologisch zu erklären, hat Bernstein gemacht. Allein die Prämissen, auf welchen derselbe aufgebaut ist, sind so wenig thatsächlich begründet und in mehrfacher Beziehung so bedenklich, dass wir ihn als berechtigte Hypothese nicht anerkennen können, und darum von einer ausführlichen kritischen Erörterung desselben hier absehen dürfen.

Bernstein stellt sich den Centralapparat, welchem die einmündenden sensiblen Nervenfasern die von ihnen geleitete Erregung zur Weiterleitung und Auslösung psychophysischer Thätigkeit übergeben, in Form eines in einer Fläche angeordneten regelmässigen Systems untereinander anastomosirender Ganglienzellen vor. Jede solche Ganglienzelle setzt der Aufnahme und dem Durchgang der Erregung einen gewissen Widerstand entgegen, welcher überboten werden muss, damit die Erregung überhaupt in die Zelle eintreten kann, woraus sich die Thatsache der Schwelle ergiebt, und welcher für jede den Schwellenwerth übersteigende Erregung bei ihrem Durchgang einen gewissen Intensitätsverlust bedingt. Dieser Verlust ist nach Bernstein in jedem Moment der Intensität der Erregung proportional. Derselbe soll die Quelle der Empfindung sein, d. h. der verschwindende Theil der lebendigen Kraft der Erregung soll verwendet werden, in der Ganglienzelle aufgespeicherte Spannkräfte in die entsprechende Summe der lebendigen Kräfte, welche der psychophysischen Thätigkeit zu Grunde liegen, umzusetzen. Tritt nun eine Erregung, welche z. B. ein Hautreiz in einer Tastnervenfaser erzeugt, und welche von ihr ohne Schwächung in der ursprünglichen, dem Reiz proportionalen Intensität bis zum Centrum geleitet wird, an das hypothetische Ganglienzellensystem heran, so wird dieselbe, wenn ihre Intensität den Schwellenwerth um eine bestimmte Grösse überschreitet, nicht allein in die direct mit der Tastfaser verbundene Zelle eintreten, sondern auch, wenn der Verlust in derselben sie nicht unter den Schwellenwerth herabsetzt, in den die erste Zelle zunächst umgebenden Zellenring durch die Anastomosen übertreten, in demselben ebenfalls psychophysische Thätigkeit auslösend, und wenn sie dadurch noch nicht unter den Schwellenwerth gebracht ist, in einen zweiten concentrischen Zellenkreis u. s. f. Die zuerst von der Erregung betretene Ganglienzelle stellt demnach nach Bernstein das Centrum eines Irradiationskreises dar, dessen Radius mithin die Zahl der von der Erregung unter Umsetzung in psychophysische Thätigkeit durchlaufenen Ganglienzellen, von der ursprünglichen Intensität der Erregung abhängt. Von der Grösse des Irradiationskreises, mit anderen Worten von der Länge des im Centrum unter stetigem Verlust von der Erregung zurückgelegten Weges, mithin von der Zahl der von ihr unter Auslösung psychophysischer Thätigkeit passirten Ganglienzellen soll die Intensität der Empfindung abhängen. Unter den oben angedeuteten Voraussetzungen ergiebt sich daraus das von Fechner's Gesetz geforderte Verhältniss der Empfindungsstärke zur Reizstärke.

Die Bedenken, welche dieser Theorie entgegenstehen, liegen zu Tage. Durchaus willkürliche Annahmen sind: Die der Existenz eines so regel-

mässigen flächenhaft ausgebreiteten Zellennetzes, als centralen Erregungsreizes, die Annahme der Ausbreitung der Erregung in demselben nach Art eines Wellenringes, die Annahme eines (in den peripherischen Leitungswegen fehlenden) specifischen Widerstands auf diesem Wege, welcher zugleich die Ursache der Begrenzung der Ausbreitung der Erregung, und der Entstehung von Empfindung aus ihr nach Analogie der Wärmebildung durch Reibung ist, mithin auch die aus dem vorhergehenden abgeleitete Annahme, dass jede Empfindung sich aus einer Summe von Einheiten, welche von den in jeder einzelnen Ganglienzelle des Inundationsgebietes freigemachten Quoten psychophysischer Thätigkeit gebildet werden, zusammensetzt. Es lässt sich ferner zeigen, dass BERNSTEIN's Theorie nicht mit allen physiologischen Thatsachen in Einklang zu bringen ist. So scheint mir dieselbe in einem, von ihrem Urheber nicht gelösten Conflict mit den Thatsachen des Raumsinnes der Haut (s. unten) zu stehen. Man muss sich doch vorstellen, dass in das continuirliche Ganglienzellennetz sich in gewissen Abständen die von den verschiedenen Hautpunkten kommenden Leitungsfasern inseriren. Wächst nun mit der Intensität der Erregung einer bestimmten Faser das centrale Irradiationsgebiet derselben weiter und weiter, so wird doch ein Punkt kommen müssen, wo dieselbe auch solche Zellen betritt, welche regelmässig dem Irradiationsgebiet der benachbarten Faser angehören, ja selbst die Einmündungszelle der letzteren. Die Folge dieses Einbruchs in fremdes Gebiet müsste daher nothwendig auch die Entstehung derselben Ortsvorstellung, welche die Erregung der benachbarten Faser regelmässig bedingt, sein; d. h. mit der wachsenden Intensität der Erregung einer Faser müsste eine weiter und weiter gehende scheinbare räumliche Irradiation der Empfindung neben der Zunahme ihrer Stärke einhergehen. Eine solche räumliche Irradiation, welche alle objectiven Belehrungen des Drucksinnes trügerisch machen müsste, findet aber bei Druckempfindungen niemals statt, sondern nur bei Gemeingefühlen, für welche wir oben besondere Leitungs- und Empfindungswerkzeuge wahrscheinlich zu machen gesucht haben. Es findet eine solche mit BERNSTEIN's Auffassung vereinbare Ausbreitung unter Umständen bei Steigerung der Intensität schmerzerregender Einwirkungen statt, aber auch hier nicht in so regelmässiger Weise und in so strenger Proportionalität zur Stärke des Reizes, wie man erwarten sollte. Es irradiiren aber auch besonders leicht das Kitzel- und Schaudergefühl, welche überhaupt nur durch die schwächsten Hautreize hervorgerufen werden, und bei denen von einem der Reizstärke proportionalen Wachsthum des Ausbreitungsgebietes keine Rede ist. Ausserdem erscheint es überhaupt nicht plausibel, dass von demselben Moment, dem Umfang des centralen Ausbreitungsgebietes der Erregung gleichzeitig die Intensität der Empfindung und die scheinbare räumliche Ausdehnung des peripherischen Reizgebietes abhängen soll.

In Kürze wollen wir noch eines geistreichen Versuchs gedenken, welchen LOTZE[1] neuerdings gemacht hat, die vermeintliche Thatsache des sprungweisen Wachsthums der Empfindungen trotz stetiger Zunahme der Reizstärke physiologisch zu erklären. LOTZE verwerthet hierzu die-

1 H. LOTZE, Syst. d. Philos. II. Th. Metaphysik. S. 513. Leipzig 1879.

selbe der Mechanik entlehnte Hypothese, welche meines Wissens zuerst ROSENTHAL in die Physiologie eingeführt hat, zur Erklärung der Periodicität der Erregungsentladungen in gewisse Gruppen motorischer Nerven trotz stetiger Reizwirkung auf ihr Innervationscentrum, speciell zur Erklärung der rhythmisch unterbrochenen Innervation der inspiratorischen Nerven trotz stetiger Reizung des Athemcentrums. ROSENTHAL statuirt bekanntlich einen Widerstand, welcher der Entladung der stetig in den betreffenden Centralapparaten freigemachten Kräfte durch eine in die motorischen Nerven abfliessenden Erregung entgegensteht und somit bedingt, dass die freigemachten Kräfte sich immer erst zu einem gewissen Grade anstauen müssen, ehe sie den Durchbruch erzwingen, während dieser Durchbruch jedesmal eine solche Erschöpfung des Kraftspeichers bewirkt, dass der Widerstand wieder die Oberhand gewinnt, um erst durch eine neue Ansammlung auf's Neue überwunden zu werden. In ähnlichem Sinne meint LOTZE, „dass man einen Bau des Nerven so voraussetzen könne, dass von jedem erreichten Grade der Erregung an eine bestimmte Sammlung und Steigerung derselben nöthig ist, um eine Bewegung zu erzeugen, die von ihm als Reiz für die Entstehung einer neuen Empfindung abgegeben werden kann; diesen Anregungen würde dann die Empfindung proportional an Intensität zunehmen." Abgesehen davon, dass, wie LOTZE selbst zugiebt, schwer auszudenken ist, wie eine solche Hemmungseinrichtung im Nerven realisirt sein soll, abgesehen davon, dass jeder Beweis für eine sprungweise Verstärkung der einfachen Empfindung fehlt, die Thatsache der Unterschiedsschwelle sich unseres Erachtens weit ungezwungener aus der Unvollkommenheit des Auffassungsvermögens für verschiedene Empfindungsintensitäten erklärt (siehe oben), unterliegt LOTZE's Hypothese an sich schwerem Bedenken. Wäre sie begründet, so müsste man nothwendig voraussetzen: erstens, dass bei einem ganz stetigen Anschwellen des Reizes die stossweise Verstärkung der Empfindung sich im Bewusstsein geltend machte, zweitens, dass bei einer gewissen Langsamkeit des Anschwellens des Reizes sogar Unterbrechungen der Continuität der Empfindung einträten, Pausen, welche den über eine gewisse Grenze ausgedehnten Anstauungsperioden der Erregung entsprächen. Beides tritt aber unter keinen Umständen ein.

DRITTES CAPITEL.

Der Muskelsinn.

I. Muskelsinn und Drucksinn.

Wie bereits aus den vorstehenden Erörterungen sich ergiebt, besitzt der Organismus für die Wahrnehmung und Messung derselben äusseren Einwirkungen, welche der Beurtheilung durch den Drucksinn unterliegen, noch einen zweiten Sinn in dem sogenannten „Mus-

kelsinn", welcher in Rücksicht auf die hier in Betracht kommenden Leistungen auch als „Kraftsinn" (Weber) bezeichnet wird. Wir erhalten eine Vorstellung von der Schwere eines Gewichts ausser aus der Intensität der Druckempfindung, welche dasselbe durch Compression der Haut erzeugt, auch aus der Intensität einer specifischen Empfindung, welche die Anstrengung der beim Heben des Gewichts oder der Verhinderung seines Falles thätigen Muskeln begleitet, und welche je nach der unten zu discutirenden Auffassung ihrer Entstehung Muskelgefühl, Anstrengungsgefühl, Bewegungsempfindung oder Innervationsgefühl benannt wird. Auch diese Empfindung ist selbstverständlich wie die Druckempfindung ursprünglich ein rein subjectiver psychischer Vorgang, dessen Objectivirung, dessen Uebertragung auf gewisse zu ihm in Bezug stehende äussere Verhältnisse, den Grad eines äusseren Widerstands, welchen die Muskeln bei ihrer Contraction überwinden, die Schwere eines Gewichts, die lebendige Kraft einer bewegten Masse, welche wir durch Muskelaction zum Stillstand bringen, auf empirischem Wege gewonnen ist. Eine anderweitige objective Verwerthung der Muskelgefühle, ihre Beziehungen zu den räumlichen Wahrnehmungen wird unten beim Raumsinn der Haut zur Sprache kommen. Durch diese Objectivirung werden die fraglichen Empfindungen zu ächten Sinnesempfindungen. Als solche stehen sie einer zweiten, ebenfalls durch die thätigen Muskeln vermittelten Empfindung, dem subjectiv bleibenden in den Muskeln localisirten Gemeingefühl der Ermüdung oder des Muskelschmerzes, welches bei übergrosser oder sehr anhaltender Anstrengung der Muskeln eintritt, gerade so gegenüber, wie eine Druckempfindung einem von der Haut aus erregten Schmerzgefühl.

Im täglichen Leben werden Drucksinn und Muskelsinn meistens gleichzeitig bei der Lösung ihrer gemeinschaftlichen Aufgaben beider verwendet, jedoch mit wechselnder Bevorzugung der Aussagen des einen oder des anderen. Wollen wir die Schwere eines Gewichts taxiren, so heben wir das mit der Hand erfasste Gewicht, und wiederholen diesen Process ein oder mehrere Mal zur Sicherung des Urtheils, welchem ebensowohl die Grösse der Druckempfindung von den belasteten Hautpartien der Hand als die Intensität des Anstrengungsgefühls der hebenden Muskeln zu Grunde gelegt werden kann. Bei schwereren Lasten wenden wir unsere Aufmerksamkeit mehr weniger ausschliesslich den Aussagen des Muskelsinnes, welcher in diesem Fall mehr leistet, zu, bei kleineren Gewichten, welche gegen das Gewicht der mitzuhebenden Körpertheile Hand, Arm zurück-

treten, verwerthen wir hauptsächlich die Druckempfindungen. Wie wir oben nachwiesen, sind bei einer grossen Anzahl der Gewichtsversuche, welche zur Prüfung der Richtigkeit des WEBER'schen (oder FECHNER'schen) Gesetzes angestellt worden sind, die Aussagen beider Sinne nicht in genügender Weise gesondert worden. Während aber eine isolirte Prüfung des Drucksinnes nach dem von WEBER angegebenen Princip mit Sicherheit ausführbar ist, sind die zur völligen Ausschaltung des Drucksinnes bei der Prüfung der Leistungen des Muskelsinnes verwendeten Methoden weniger unbedenklich. WEBER legte die zu prüfenden Gewichte in ein zusammengeschlagenes Tuch, dessen vereinigte Zipfel beim Heben mit der Hand umfasst wurden. Da hierbei die Handfläche um so stärker an das Tuch angepresst werden muss, je schwerer die Last, um das Herausgleiten zu verhindern, entsteht offenbar eine mit der Grösse des Gewichts wachsende Druckempfindung neben dem Muskelgefühl, wenn dieselbe auch bei der Bildung des Urtheils vernachlässigt wird, wie aus dem von WEBER betonten Umstand hervorgeht, dass die Vorstellung von der Schwere des Gewichts nicht durch willkürliche Verstärkung des Druckes der Hand gegen das Tuch alterirt wird und aus einigen interessanten Beobachtungen LEYDEN's[1], in denen er bei pathologischer Depression der Hautempfindlichkeit für Druck, die Unterschiedempfindlichkeit für gehobene Gewichte nicht herabgesetzt fand.

II. Feinheit des Muskelsinnes.

Um die Feinheit der Leistungen des Muskelsinnes festzustellen, verwendete WEBER dasselbe Princip, nach welchem er die Feinheit des Drucksinnes mass, d. h. er bestimmte nach der Methode der eben merklichen Unterschiede, wie klein die Differenz zweier nacheinander auf die beschriebene Weise gehobener Gewichte gemacht werden konnte, ohne unmerklich zu werden. Er fand, dass im günstigsten Fall noch Gewichte für verschieden schwer erkannt wurden, welche sich wie 39 : 40 verhielten, und schliesst daraus, dass die Feinheit des Muskelsinnes weiter gehe, als die des Drucksinnes, bei welchem in seinen Versuchen die Grenze bei einem Verhältniss von 29 : 30 erreicht war. Durch gleichzeitige Verwendung beider Sinne konnte er keine weitergehende Feinheit der Unterscheidung erzielen.

Aus dem Umstand, dass WEBER die Leistungsgrenze durch ein Zahlenverhältniss ohne Zusatz der absoluten Gewichtsgrössen ausdrückt, folgt,

1 LEYDEN, Arch. f. pathol. Anat. XLVII. S. 321.

dass er auch für den Muskelsinn die Gültigkeit seines Gesetzes, nach welchem dem kleinsten merklichen Unterschied bei allen absoluten Grössen der Reizstärke derselbe relative Reizzuwachs entspricht, statuirt. Leider fehlt in Weber's eigenen Beobachtungen für diese Uebertragung des aus dem Verhalten des Drucksinnes abgeleiteten Gesetzes auf den Muskelsinn die Begründung, da er bei den hierher gehörigen Versuchen die absolute Reizstärke gar nicht variirte, sondern nur für das Gewicht von 78 Unzen den kleinsten eben merklichen Zuwachs bestimmte. Der Einzige der späteren Experimentatoren, welcher eine isolirte Prüfung der Feinheit des Muskelsinns nach Weber's Methode und der Gültigkeit des Weber'schen Gesetzes für denselben unternommen, Hering mit seinen Schülern Biedermann und Löwit, ist dabei zu Resultaten gelangt, welche zu dem fraglichen Gesetz in schroffem Widerspruch stehen. Der kleinste eben unterscheidbare Gewichtszuwachs, welcher bei einem Hauptgewicht von 250 Grm. $^1/_{21}$ (12 Grm.) betrug, sank bei der successiven Steigerung des Hauptgewichts bis zu 2500 Grm. allmälig auf $^1/_{114}$ herunter, um dann bei der weiteren Erhöhung des letzteren auf 2750 Grm. wieder auf $^1/_{95}$ zu steigen. Es wuchs demnach die Unterschiedsempfindlichkeit mit der Vergrösserung der absoluten Reizstärke anfangs sehr beträchtlich, und nahm später wieder ab.

Die Meisten, welche überhaupt mit Weber vom Muskel selbst aus hervorgerufene Empfindungen als die Grundlage des Muskelsinnes betrachten, haben sich auch seiner weiteren Annahme angeschlossen, dass diese Empfindungen nicht blos bei der activen Contraction der Muskeln, durch welche sie einen äusseren Widerstand, wie die Schwere eines Gewichtes überwinden, sondern auch bei ihrer passiven Dehnung, z. B. durch den Zug eines Gewichtes, zu Stande kommen. Als Beweis dafür führt Weber an, dass, wenn er den Arm schlaff über eine Stuhllehne herabhängen liess, so dass er in der Achselhöhle unterstützt war, und nun an demselben mittelst eines um die Handwurzel geknüpften Tuches verschiedene Gewichte ziehen liess, er den Gewichtsunterschied wahrnehmen konnte. Weber selbst giebt zu, dass hierbei die Einmischung der von der Haut der Achselhöhle und der Handwurzel aus erzeugten, mit der Belastung wachsenden Druckempfindungen nicht ausgeschlossen war, glaubt aber doch, den Hauptantheil an der Unterscheidung den durch die Dehnung der Armmuskeln erweckten Empfindungen zuerkennen zu müssen. Ich kann dieser Behauptung nicht beistimmen. Erstens ist der Umfang der (durch das Nachgeben in den Gelenken) möglichen Dehnung der Muskeln ein sehr geringer, und schon bei geringen Belastungen seine Grenze erreicht. Zweitens habe ich mich durch einige directe Versuche überzeugt, dass bei diesem Verfahren die Unterschiedsempfindlichkeit viel weniger fein ist, als bei Hebung der Gewichte, dass ein Unterschied, welcher bei schlaff hängendem Arm nicht erkannt wird, sofort bei der geringsten Energieentwicklung der Muskeln zur Hebung merklich wird. Es liegt meines Erachtens kein haltbarer Grund vor, unter den angegebenen Verhältnissen neben den bezeichneten Hautgefühlen noch eine weitere Quelle für die Beurtheilung der Gewichtsgrössen anzunehmen. Ob ein Muskel bei ungehemmter Dehnung durch Gewichte, welche an einem freien Ende desselben ziehen, zur Unterscheidung der letzteren

brauchbare, den Contractionsgefühlen gleichartige Empfindungen auszulösen vermag, ist begreiflicherweise nicht entschieden.

Obwohl die Physiologie des Muskelsinnes strenggenommen nicht in das Gebiet unserer Aufgabe gehört, und eine erschöpfende Erörterung derselben ohne gleichmässige Berücksichtigung aller seiner mannichfachen Leistungen, ganz besonders auch derjenigen, durch welche er an den Gesichtswahrnehmungen wesentlichen Theil nimmt, nicht möglich ist, können wir uns doch einer kritischen Behandlung der viel discutirten Frage nach der Natur und Entstehung der Empfindungen, welche ihm zu Grunde liegen, nicht entziehen, schon darum nicht, weil ihm ein gesondertes Capitel in diesem Handbuch nicht angewiesen ist, und weil Einige versucht haben, die hier in Betracht kommenden Leistungen desselben auf eine versteckte Thätigkeit des Tastsinns zurückzuführen.

III. Theorien des Muskelsinnes.

Drei wesentlich verschiedene Grundannahmen sind es, auf welche die einander gegenüberstehenden Erklärungsversuche der Aeusserungen des sogenannten Muskelsinnes basirt sind. Nach der einen zuerst von Chr. Bell[1] bestimmt ausgesprochenen, von E. H. Weber weiter ausgeführten Theorie beruhen dieselben auf der Thätigkeit eines specifischen Sinnesnervenapparats. Eigenthümliche im Innern der Muskeln endigende sensible Fasern sind es, welche an ihren specifischen Enden irgendwie bei der Contraction der Muskeln in einer der Energie und dem Umfang der Zusammenziehung proportionalen Stärke erregt, diese Erregung specifischen centralen Empfindungsapparaten zuleiten, in denen dieselbe eine specifische, ebensowenig wie eine andere Empfindungsmodalität definirbare Art von Empfindungen auslöst, welche dann wie andere Sinnesempfindungen der weiteren psychischen Verarbeitung, der Verknüpfung mit den verschiedenartigsten Vorstellungen, z. B. also der Vorstellung der vom Muskel entwickelten Kraft und der durch dieselbe überwundenen äusseren Widerstände unterliegen. Nach einer zweiten Theorie sind „centrale Innervationsgefühle“, d. h. die in ihrer Qualität und Intensität direct zum Bewusstsein gelangenden Willensimpulse, welche von den centralen Ursprungsapparaten der motorischen Nerven aus durch deren Erregung die Muskelthätigkeit vermitteln, die Grundlagen des Muskelsinnes. Nach einer dritten Ansicht endlich beruhen die demsel-

1 Chr. Bell, Phys. u. pathol. Unters. d. Nervensyst., übers. von Romberg S. 185. 832.

ben zugeschriebenen Wahrnehmungen überhaupt nicht auf specifischen Empfindungen, sondern auf Interpretationen von Hautgefühlen, welche bei der Stellungs- und Formveränderung der Glieder durch Muskelcontraction in gedehnten oder gedrückten Hautpartien entstehen, oder auch durch Druck der Weichtheile auf Hautnervenfasern im Verlauf hervorgerufen werden sollen. Einige haben die letzten beiden Theorien combinirt, eine gleichzeitige Benutzung der Innervations- und Hautgefühle zur Bildung der in das Gebiet des Muskelsinnes verwiesenen Vorstellungen angenommen. Als entschiedene Gegner der BELL-WEBER'schen Theorie sind besonders SCHIFF, WUNDT, BAIN und HERING[1] hervorgetreten, während sie selbst untereinander in der Erklärung des Muskelsinnes nicht vollständig harmoniren. WUNDT ist der Hauptvertreter der Innervationsgefühle, während SCHIFF den Hautgefühlen den Hauptantheil an den Leistungen des Muskelsinnes zuzuschreiben gesucht hat. Es liegt auf der Hand, dass die Uebertragung des physiologischen Begriffes eines Sinnes auf den Muskelsinn und seine Parallelstellung als besonderer sechster Sinn zu den übrigen Sinnen strenggenommen nur dann gerechtfertigt ist, wenn sich die erste Erklärung als die richtige erweist, d. h. wenn specifische durch die peripherische Erregung centripetalleitender eigenthümlicher Nervenfasern ausgelöste Empfindungen seine Grundlage bilden. Selbst dann bleibt den übrigen Sinnen gegenüber noch der Unterschied bestehen, dass nicht ein äusserer durch die peripherischen Endapparate der Sinnesnerven in einen Reiz umgewandelter Vorgang die Empfindungen verursacht, sondern allerdings eine Veränderung in den peripherischen Endorganen der betreffenden Nerven, welche aber ihrerseits den reizenden Anstoss nicht von aussen, sondern durch eine vom Centrum auf Veranlassung des Willens zugeleitete Erregung erhält.

Zur Begründung der ersten Theorie des Muskelsinnes ist selbstverständlich der anatomisch-physiologische Nachweis der von ihr vorausgesetzten sensiblen Nerven der Muskeln erforderlich. Dieser Beweis ist von beiden Standpunkten aus schwer mit Sicherheit zu führen. Es ist ebenso oft die Existenz der fraglichen Nerven ohne genügenden Grund geleugnet als behauptet worden. Früher ist gegen ihre Existenz häufig die Thatsache angeführt worden, dass die Muskeln gegen mechanische, thermische, elektrische und chemische Reizung

1 Vgl. SCHIFF, Lehrbuch d. Phys. I. S. 156. Lahr 1858—59; WUNDT, Vorles. üb. d. Menschen u. Thierseele I. S. 222, Grundz. d. phys. Psychol. S. 316 u. 488; BAIN, The senses and the intellect. 2. ed. p. 87. Lond. 1864; HERING, Beitr. z. Phys. Hft. 1—5. S. 30. 316. Leipzig 1861—64.

sich auffallend unempfindlich zeigen, weder durch Zeichen bewusster Schmerzempfindung noch durch einfache Reflexerscheinungen mit Sicherheit reagiren. Erstens sind aber solche Reactionen positiv beobachtet und eine einzige unzweideutige positive Beobachtung beweist mehr, als zahllose negative zusammen. Zweitens existirt eine Reihe bekannter physiologischer und pathologischer Erscheinungen, welche schlechterdings die Annahme sensibler Muskelnerven fordert. Das sind die Ermüdungsschmerzen und die oft sehr intensiven Schmerzen, welche unwillkürliche unter krankhaften Verhältnissen auftretende Krämpfe der Muskeln z. B. die Wadenkrämpfe bei Cholera, oder gewisse pathologische Veränderungen des Muskelgewebes begleiten. Jeder Versuch diese Schmerzen aus einer Reizung centraler Empfindungsapparate, welche mit den Muskeln nicht durch Nervenleiter verbunden sind zu erklären, oder sie als Hautgefühle zu deuten, welche durch Druck der contrahirten Muskeln auf vorüberziehende Hautnerven hervorgerufen werden, ist durchaus unhaltbar. Der gewichtigste Gegengrund liegt in der unzweifelhaften Localisation dieser Empfindungen in den Muskeln. Es ist eine beim Raumsinn zu erörternde Thatsache, dass sobald überhaupt Empfindungen bei ihrer räumlichen Auslegung auf Theile des Körpers bezogen werden, der Ort, in welchen sie verlegt werden, der peripherische Endbezirk der gereizten Nerven ist. Und wenn auch diese Localisation bei Reizung im Innern des Körpers endigender sensibler Fasern keine sehr genaue ist, so ist sie doch für die Hautnerven insofern eine untrügliche, als jede Empfindung, die durch Reizung derselben, sei es an den Enden oder im Verlauf, erzeugt wird, unfehlbar in die Haut und mehr weniger präcis in den Endbezirk der betreffenden Fasern verlegt wird. Es ist also unstatthaft, da einmal die durch Vorgänge in den Muskeln verursachten Schmerzen in diesen localisirt werden, ohne zwingenden Grund nach einem anderen Endigungsort der erregten Nerven, als eben in den Muskeln zu suchen, und ganz unmöglich, ihre Endigung in der Haut anzunehmen, da wir dann unfehlbar den Schmerz in die Haut verlegen, und zwar in die vielleicht weit von dem den Schmerz veranlassenden Muskel entfernte Haut, in welcher die zufällig an ihm vorbeilaufenden Nervenfasern endigen, wie wir den Schmerz, welcher bei Druck auf den Ulnarnerven am Ellbogen entsteht, in der Haut der Finger, in denen seine Fasern endigen, localisiren. Wie diese Muskelnerven bei den verschiedenen Entstehungsarten des Muskelschmerzes erregt werden, ob mechanisch, oder chemisch durch Zersetzungsprodukte, welche bei excessiver Thätigkeit oder unter pathologischen Verhältnissen sich bilden und

anhäufen, ist unentschieden. Letztere Erregungsursache würde sehr plausibel die oft lange Nachdauer der Schmerzen erklären, welche ebenfalls mit der Annahme einer Reizung von Hautnerven unvereinbar ist. Leider ist mit dieser thatsächlichen Begründung der Sensibilität der Muskeln für unsere Frage nichts Entscheidendes gewonnen. Die Muskelschmerzen sind Gemeingefühle und sind als solche von den fraglichen objectivirbaren Sinnesempfindungen der Muskeln ebenso streng zu scheiden, wie die Gemeingefühle der Haut von den Tastempfindungen. Nachdem wir aber (S. 297) nachgewiesen haben, dass die Identität des nervösen Apparats für beide Arten der Hautempfindungen mindestens zweifelhaft ist, da ferner feststeht, dass es noch andere innere Organe giebt, welche Gemeingefühle, aber keinerlei Sinnesempfindungen vermitteln, kann aus der Schmerzempfindlichkeit des Muskels nicht geschlossen werden, dass er auch sensible Fasern für den sechsten Sinn besitze, seien es dieselben, welche unter Umständen den Schmerz erwecken, seien es besondere. Von diesem Gesichtspunkte aus können wir auch den trefflichen Untersuchungen von C. SACHS [1], durch welche die Existenz sensibler Muskelnerven zuerst sicher begründet worden ist, keine entscheidende Bedeutung für die Theorie des Muskelsinnes zuerkennen.

Nachdem bereits früher einige Anatomen (REICHERT, KÖLLIKER, ARNDT, ODENIUS) [2] in den Muskeln durch Art des Verlaufes und der Endigung vor den motorischen ausgezeichnete Nervenfasern gefunden und dieselben als sensible gedeutet hatten, hat SACHS nicht allein Verlauf und Endigung derselben in Terminalnetzen zwischen und auf den Muskelfasern näher erforscht, sondern ihre sensible Natur durch den Nachweis ihrer Herkunft aus den sensiblen hinteren Rückenmarkswurzeln, nach deren Durchschneidung er sie degeneriren sah, sicher demonstrirt. Derselbe constatirte ferner, dass bei mit Strychnin vergifteten Fröschen Reflexkrämpfe hervorzurufen sind einmal durch Reizung des centralen Stumpfes eines Muskelnerven z. B. des kleinen Stämmchens, welches den M. sartorius versorgt, zweitens durch elektrische oder chemische (Ammoniak) Reizung der Substanz eines isolirten Muskels selbst, welcher in Folge der Durchschneidung der vorderen Wurzeln nur noch durch die hinteren Wurzeln mit dem Rückenmark in Verbindung stand. Endlich gelang es ihm, unter dem Mikroskop durch partielle transversale Einschnitte in den Muskeln Faserabschnitte zu isoliren, welche an den von dem Nerven aus eingeleiteten Contractionen nicht Theil nahmen, aber unversehrte Nerven-

1 C. SACHS, Phys. u. anat. Unters. über die sens. N. d. Musk. Arch. f. Anat. u. Physiol. 1874. S. 175. 491 u. 645.

2 REICHERT, in s. Arch. f. Anat. u. Phys. 1851. S. 29; KÖLLIKER, Microsc. Anat. II. 1. Abth. S. 240, Ztschr. f. wiss. Zool. XII. S. 149; ODENIUS, Nord. Medic. Arkiv, red. af AXEL KEY. IV. No. 18. 1872. Vgl. ausserdem TSCHIRJEW, Arch. f. Psychiatr. VIII Heft 3, Compt. rend. 22. Oct. 1878 und Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) S. 78. 1879.

fasern enthielten, welche er demnach als sensible auffasst. Alle diese interessanten Thatsachen beweisen eben nur, dass der Muskel mit den Nervencentren durch centripetalleitende Fasern in Verbindung steht, nicht aber, dass letztere ausser Gemeingefühl und Reflexen auch Sinnesempfindungen bei jeder durch Contraction eingeleiteten Erregung hervorbringen. Auch die Reflexe, welche SACHS in Folge von Contractionen, die er durch Reizung des nervenfreien Endquerschnitts eines Sartorius mittelst Ammoniaks auslöste, auftreten sah, berechtigen nicht zu der von SACHS als unantastbar hingestellten Folgerung, dass die Contraction eines Muskels als solche empfunden werde.

Wir müssen uns demnach nach anderen physiologischen und pathologischen Beweismitteln für die Endigung von Sinnesnerven in den Muskeln umsehen, und deren Beweiskraft ebenso sorglich prüfen, wie diejenige der für die gegenüberstehenden Theorien des Muskelsinnes und speciell des Kraftsinnes vorgebrachten Argumente.

Aus der subjectiven Beurtheilung der Qualität der Empfindungen, welche die willkürlichen Muskelcontractionen begleiten, an sich lässt sich ein sicherer Nachweis des Ortes ihrer Erregung nicht führen. Allerdings erscheint auch mir die Empfindung, welche z. B. während der Hebung eines Gewichtes mit dem Arm entsteht, wesentlich verschieden von allen Empfindungen, welche sich durch irgendwelche Einwirkung auf die Haut irgendwelches Armtheiles erzeugen lassen; allerdings glaube auch ich eine solche eigenthümliche Empfindung, welche wie der Muskelschmerz in den Muskeln zu entstehen scheint, deutlich von gleichzeitigen bestimmt in der Haut localisirten, durch Compression, Dehnung, oder Faltung einzelner Partien derselben erweckten Gefühlen zu unterscheiden. Allein erstens bin ich ausser Stande, dieselbe an sich den Hautempfindungen gegenüber bestimmt zu charakterisiren, und es erscheint geradezu naiv, wenn SACHS eine solche Charakteristik versucht, indem er angiebt, er fühle neben den Hautempfindungen etwas „Schwellendes, Zuckendes, Vibrirendes, Dröhnendes“. (Die letzteren Epitheta lassen fast daran denken, dass SACHS, dessen Beschreibung der bei Contraction des levator anguli oris auftretenden Empfindung gilt, ein fortgeleitetes Muskelgeräusch wahrgenommen und für Muskelempfindung gehalten habe, was nach HERING's[1] neuesten Mittheilungen über die Muskelgeräusche des Auges nicht unmöglich erscheint.) Zweitens sagt die Empfindung an sich nichts darüber aus, ob sie von den centralen Entladungsherden des Willens aus hervorgerufen und nur excentrisch localisirt sei, oder ob ihre Quellenstation in den Muskeln liege. Wer möchte

---

1 E. HERING, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXIX. Febr. 1879.

behaupten, er besitze ein sicheres subjectives Unterscheidungsmerkmal der isolirten Einwirkung eines Willensimpulses auf sein Sensorium, d. h. eines reinen hypothetischen „Innervationsgefühles“? Dagegen liegt ein Argument von meines Erachtens schlagendem Werth gegen die Erklärung der Leistungen des Kraftsinnes aus Innervationsgefühlen in einer Thatsache, welche ohne in dieser Bedeutung gewürdigt zu werden, von einem Gegner der Bell'schen Lehre constatirt worden ist. Bernhardt[1] untersuchte die Unterschiedsempfindlichkeit für Gewichte, welche durch Beugung eines Fusses oder Fingers mittelst einer über eine Rolle laufenden Schnur gehoben wurden, einmal während die genauen Bewegungen durch den Willen, zweitens während sie durch locale Reizung der betreffenden Muskeln mit Inductionsströmen hervorgebracht wurden und fand das Unterscheidungsvermögen im zweiten Fall gleich gross oder nur unerheblich geringer als im ersten. Wenn demnach beim Wegfall jeder willkürlichen Innervation die dem Kraftsinn zu Grunde liegenden Empfindungen und die damit verbundenen Vorstellungen unverändert auftreten, erscheint mir jede Betheiligung der angeblichen Innervationsgefühle unbedingt ausgeschlossen. In demselben Sinne scheint mir auch die Thatsache zu sprechen, dass ebenfalls ohne Zuthun des Willens ausgelöste Reflexbewegungen sich auch mit mehr weniger genauen Vorstellungen von der entwickelten Muskelkraft, von der Grösse der überwundenen Widerstände verbinden. Das Gewicht dieser Thatsachen erscheint mir weit grösser, als das Gegengewicht, welches man in dem allerdings auffallenden Umstand suchen könnte, dass der Muskelsinn ausschliesslich an die Action der willkürlichen Muskeln gebunden ist, dass keinerlei Gefühl die Energie z. B. des Herzmuskels und mittelbar die Grösse seiner Leistung verräth. Ich kann darin keine unausweichliche Nöthigung zu dem Schluss, dass eben nur der Willensimpuls direct das Empfindungssubstrat des Muskelsinnes liefere, finden. Erstens ist es wohl möglich, dass der Herzmuskel ausnahmsweise nicht mit Sinnesnerven ausgestattet ist. Zweitens ist denkbar, dass allerdings eine (unbewusste) Empfindung jede Systole begleitet, aber in Folge ihrer unveränderlichen Regel- und Gleichmässigkeit, in Folge des Umstandes, dass weder der Wille noch wahrnehmbare äussere Momente mittelbar ihre Intensität in bestimmter Abstufung variiren können, der Einführung ins Bewusstsein und weiterer psychischer Verarbeitung sich vollständig entzieht.

---

1 Bernhardt, Arch. f. Psychiatrie III. S. 627. 1872.

Dass die Aussagen des Muskelsinnes sich nicht auf die hypothetischen Innervationsgefühle als alleinige Grundlage zurückführen lassen, ist auch auf anderen Wegen meines Erachtens unanfechtbar zu demonstriren, und auch ausdrücklich oder stillschweigend von den Gegnern eigenthümlicher Muskelgefühle anerkannt worden. Die Innervationsgefühle können der Seele eben nur kund thun, welches Maass von Willenskraft sie aufgewendet hat. Es muss aber doch nothwendig irgend eine Controlle über die Ausführung der Willensbefehle vorhanden sein; eine solche kann nur durch eine Empfindung geführt werden, an der peripherischen Wirkungsstätte des Willens hervorgerufene, mit dem Grad des vom Willen erzielten Effectes Schritt haltende Empfindungen sind für diesen Zweck unentbehrlich. Beruhten die Wahrnehmungen des Kraftsinnes auf den Innervationsgefühlen allein, so müsste der Amputirte sich nach wie vor alle die Wahrnehmungen produciren können, welche vorher mit der willkürlichen verschiedenartigen und verschiedengradigen Innervation der Muskeln des fehlenden Gliedes verknüpft waren. Es müssten dann, wie LOTZE[1] treffend bemerkt, wenn der Arm durch Druck auf seinen Nerven „eingeschlafen" ist, wegen Unterbrechung der Leitung in den gedrückten Nervenpartien die Willensbefehle der Armmuskeln nicht mehr zugeleitet werden, trotz der Unbeweglichkeit des Armes, jede gewollte Bewegung dieselben Bewegungsgefühle und Vorstellungen veranlassen, wie die wirklich ausgeführte Bewegung. Wenn jede peripherische Controlle des Willensvollzuges fehlte, wenn die ausgeführten Bewegungen nicht durch charakteristische nach ihrer Energie und ihrem Umfang abgestufte Marken gekennzeichnet wären, so wäre überhaupt nicht zu begreifen, wie der Wille erlernen könnte, den ihm unterthanen Bewegungsmechanismus in einer den mannichfachen Aufgaben desselben so genau angepassten Weise mit solcher Präcision, wie es thatsächlich der Fall ist, zu gebrauchen. Daraus erklärt sich auch, dass in einem Gliede, dessen sensibler Verkehr mit den Centralorganen mittelst Durchschneidung der betreffenden hinteren Rückenmarkswurzeln vollständig aufgehoben ist, wie PANIZZA, SCHIFF und CL. BERNARD[2] an Fröschen gezeigt haben; die Erscheinungen eintreten, welche man als Zeichen des Verlustes des Muskelsinnes deutet und unter dem Namen „Ataxie" zusammenfasst. Trotz der vorausgegangenen Einübung des Willens im zweckmässigen Gebrauch der Muskeln des Gliedes, geht die Sicherheit seiner

1 LOTZE, Medicin. Psychol. S. 310.

2 PANIZZA, Ricerche sperim. sopra i nervi, Pavia; SCHIFF, Lehrb. d. Physiol. S. 143; CL. BERNARD, Leç. s. l. phys. et pathol. d. syst. nerv. p. 254. Paris 1858.

Herrschaft über dieselben, die richtige Coordination und Abstufung der Bewegungen des Gliedes verloren.

Es kann daher nur in Frage kommen, in welcher Weise, durch welche Sinne die unerlässliche Controlle ausgeübt wird, ob, was von vornherein jedenfalls als das Einfachste und Zweckmässigste erscheint, durch den Muskeln selbst zu diesem Behuf verliehene, nothwendig durch ihre Thätigkeit erregte sensible Nerven, wie die Vertreter eines specifischen Muskelsinnes behaupten, oder durch indirecte Nebenwirkungen der Muskelcontraction auf einen der bekannten fünf Sinne, wie die Gegner darzuthun suchen. So schreibt HERING die Controlle über den Vollzug der Willensimpulse für die Augenmuskeln ausschliesslich dem Raumsinn der Netzhaut zu; nicht Aenderungen in den gänzlich von ihm in Abrede gestellten Spannungsgefühlen der Augenmuskeln, sondern lediglich die mit den Augenbewegungen verknüpften Verschiebungen der Netzhautbilder sollen zur Erkenntniss der Aenderungen der Augenstellung verwendet werden. Indem ich unter Verzicht auf eine nähere Discussion über die Auffassung wie überhaupt auf die Erörterung aller Beziehungen zwischen Muskel- und Gesichtssinn auf HERING's eigene Darstellung (Bd. III 1. dieses Handbuchs) verweise, bemerke ich nur, dass ich seiner Erklärung immer noch die Thatsache gegenüberstelle, dass wir auch bei geschlossenem Auge, also Ausschaltung der HERING'schen Controllmittel, ziemlich genaue Vorstellungen von der Blickrichtung erhalten. Für fast alle übrigen Muskeln, insbesondere die der Extremitäten, deren Thätigkeit, wie leicht erweislich, ohne jede Ueberwachung durch den Gesichtssinn sich mit den genauesten Aeusserungen des Muskelsinnes verbindet, bleibt natürlich, wenn man ihnen die Selbstcontrolle abspricht, nur der Tastsinn als Controlleur denkbar. Hautgefühle sind es daher, welche Einige, vor allen SCHIFF den specifischen Sinnesempfindungen der Muskeln ebenso wie ihren specifischen Gemeingefühlen zu substituiren gesucht haben, sei es dass sie Zerrungen, Compressionen der Haut bei den Form- und Lageveränderungen der bewegten Glieder, oder Druck der contrahirten Muskeln auf Hautnerven als Ursachen der Hautgefühle annehmen, oder (RAUBER[1]) die meist ausserhalb der Muskeln in der Nähe der Gelenke aufgefundenen PACINI'schen Körperchen als die mittelbaren Sinnesorgane der Muskeln in Anspruch nehmen.

Gegen diese Verwendung von Hautgefühlen im Dienste des Muskelsinnes und zwar zunächst des Kraftsinnes lassen sich zunächst

1 RAUBER, Vater'sche Körp. d. Bänder- u. Periostnerv. u. ihre Bez. z. sogen. Muskelsinn. Inaug.-Diss. München 1865.

allgemeine Einwände aufführen, von denen ein Theil schon bei Erörterung der Gemeingefühle der Muskeln zur Sprache gekommen ist. Es lässt sich nicht einsehen, warum in diesem Fall nicht auch durch Hervorrufung der betreffenden Hautgefühle mittelst äusserer Reize die gleichen Vorstellungen des Muskelsinnes erzeugt werden können, oder wenn man dagegen sagen wollte, dass dazu die Combination bestimmter Hautgefühle mit bestimmten Innervationsgefühlen erforderlich sei, wie erstere die Controlle der letzteren ausüben sollen, wenn entweder ihre Entstehung durch äussere Momente verhindert wird, oder wenn sie gleichzeitig durch äussere Einwirkungen hervorgerufen die specifischen Empfindungen des Tastsinns und die an diese sich anknüpfenden Vorstellungen vermitteln.

Die Ergebnisse der physiologischen Versuche über die fragliche Stelle der Hautgefühle sprechen entschieden eher gegen als für dieselbe, obwohl kein experimentum crucis darunter ist. Der Angabe Schiff's, dass das die energische Contraction der Masseteren begleitende Spannungsgefühl verschwinde, wenn man mittelst des Backenbarts die Backenhaut von den Muskeln abziehe, wird schwerlich Jemand irgend welche Beweiskraft für die Reduction der Muskelgefühle auf Hautgefühle zuerkennen. Weit gewichtiger spricht dagegen die Beobachtung Cl. Bernard's, dass Frösche die coordinirten Bewegungen des Springens, Schwimmens u. s. w. nach der Enthäutung ungestört ausführen. Eine Entscheidung suchte Bernhardt dadurch zu gewinnen, dass er untersuchte, ob die Unterschiedsempfindlichkeit für gehobene Gewichte, welche er, wie bereits mitgetheilt, bei localer elektrischer Reizung und willkürlicher Innervation der hebenden Muskeln gleich fein fand, auch bestehen bliebe, wenn die Haut durch Aether oder Chloroform anästhetisch gemacht würde. Die Versuche ergaben keine Herabsetzung der Feinheit des Kraftsinns; es war aber auch in keinem derselben gelungen die Haut vollständig unempfindlich zu machen.

Auch das pathologische Beobachtungsmaterial, welches man zur Entscheidung der Frage nach den Quellen des Muskelsinnes herangezogen hat, liefert meines Erachtens bei unbefangener Interpretation gewichtige Argumente zu Gunsten der Bell-Weber'schen Theorie und Entscheidungsgründe sowohl gegen die Zurückführung der „Muskelgefühle“ auf reine Innervationsgefühle als gegen ihre Identificirung mit Hautgefühlen. Sicher ist, dass eine Anzahl von Fällen beobachtet sind, in denen bei vollständiger Anästhesie der Extremitäten keinerlei Störungen in dem willkürlichen Gebrauch derselben sich zeigen, der Kraftsinn durchaus intact ist. Andererseits ist constatirt, dass häufig hochgradige Ataxie, d. h. also die auf Schwächung oder Lähmung des Muskelsinnes gedeuteten Erscheinun-

gen, sich zeigt, ohne dass eine Herabsetzung der Sensibilität der Haut, eine Schwächung des Tastsinns nachweisbar ist. Zu einer kritischen Besprechung der einzelnen Beobachtungen fehlt uns hier der Raum, wir beschränken uns auf folgende Bemerkungen. Leyden, welcher im Allgemeinen die Existenz sensibler Nerven in den Muskeln und deren Betheiligung an den Leistungen des Muskelsinnes zugiebt, glaubt doch beweisen zu können, dass sie ebensowenig wie die Hautgefühle die alleinigen Vermittler des letzteren sind. Er fand bei einem Tabeskranken mit hochgradiger Ataxie und hochgradiger Herabsetzung der Hautempfindlichkeit die Unterschiedsempfindlichkeit für gehobene Gewichte von normaler Feinheit. Da er nun bei diesem Patienten durch locale elektrische Reizung auch kein „Gefühl der Muskelspannung" (ausser bei den stärksten Contractionen) hervorrufen konnte, schliesst er, dass auch das Muskelgefühl vollständig erloschen gewesen sei, mithin der erhaltene Kraftsinn nur als eine Function des „Sensoriums", d. h. wohl der Innervationsgefühle, erklärlich sei. Abgesehen von der Frage, ob die Angaben solcher Patienten über Vorhandensein oder Fehlen der überhaupt so dumpfen und wenig charakteristischen Muskelgefühle, zumal wenn dieselben vor gleichzeitigen nicht völlig unterdrückten Hautschmerzen zu scheiden sind, völlig zuverlässig sind, ist bei der notorischen geringen Erregbarkeit der sensiblen Muskelnerven für die allgemeinen äusseren Reize das Ausbleiben der Muskelgefühle bei directer Muskelreizung kein entscheidender Beweis für den totalen Verlust der Muskelempfindlichkeit. Von höchstem Werth scheinen mir zwei von Ch. Bell und Maudsley beobachtete Fälle[1]. Die betreffenden Patienten, welche die Erscheinungen der Muskelsinneslähmung darboten, konnten mit der Hand oder dem Arm ergriffene Gegenstände nur festhalten, so lange sie die Augen darauf gerichtet hielten; bei Abwendung des Blicks liessen sie dieselben fallen. Da in diesen Fällen sowohl die willkürliche Innervation der betreffenden Muskeln ungestört, als der Tastsinn erhalten war, scheint mir kaum eine andere Erklärung der Thatsache denkbar als die aus einem Verlust specifischer von den contrahirten Muskeln aus erweckter Empfindungen. Mit dem Wegfall derselben war die natürliche Controlle über den richtigen Vollzug der vom Willen einzuleitenden, zum Halten erforderlichen Muskelactionen aufgehoben. Aus den hypothetischen Innervationsgefühlen allein erfuhr die Seele nichts über deren Fortbestand; wohl aber trat der Gesichtssinn vicarirend für die Muskelgefühle ein, indem er die Erhaltung einer bestimmten, beim Ergreifen der Gegenstände angenommenen Form und Stellung der Glieder überwachte. Dass der Tastsinn in diesen Fällen nicht einmal aushülfsweise, wie der Gesichtssinn, die Controlle übernehmen, die Seele von dem Fortbestand der beim Erfassen der Gegenstände entstandenen Druckgefühle in gleicher Art und Intensität unterrichten und dadurch zur Unterhaltung der nöthigen motorischen Innervation veranlassen konnte, ist sehr auffallend, spricht aber gewiss entscheidend gegen die von Schiff u. A. ihm zugeschriebene normale und wesentliche Rolle bei den Aeusserungen des Muskelsinnes.

---

1 Mir sind dieselben nur aus der Mittheilung von G. E. Müller, Zur Grundlegung d. Psychophys. S. 328, bekannt. Müller citirt: Maudsley, Phys. u. Pathol. d. Seele, Deutsch von Böhm. S. 183.

Wundt findet ein Hauptargument für seine Auffassung, dass die Innervationsgefühle durch ihre wechselnde Intensität allein die Vorstellungen von der wechselnden Stärke der entwickelten Muskelkraft vermitteln, in der pathologischen Thatsache, dass bei beginnenden motorischen Lähmungen (sogenannter „Parese"), wo die Ausführung einer Bewegung von bestimmter Grösse und die Ueberwindung bestimmter Widerstände durch dieselbe eine grössere Anstrengung als im Normalzustand erheischt, die Patienten das Gewicht ihrer Glieder oder einer mit denselben gehobenen Last für grösser halten, als es ist. Ich kann nicht einsehen, wie diese Urtheilstäuschung die Nichtbetheiligung von Muskelgefühlen bei der Beurtheilung der entwickelten Muskelkraft beweisen soll. Im Normalzustand verknüpft sich mit jedem Innervationsgefühl von bestimmter Art und bestimmtem Grade ein Muskelgefühl bestimmter Art und bestimmter Intensität, auf dem Wege der Erfahrung prägen sich dem Gedächtniss die correspondirenden Arten und Intensitäten beider Gefühle ein. In der Parese ändert sich dieses Verhältniss in dem Sinne, dass die Intensität des zu einem bestimmten Innervationsgefühle gehörigen Muskelgefühles abnimmt, oder zur Erzeugung eines Muskelgefühles bestimmter Stärke eine stärkere Willensanstrengung erforderlich ist. Diese Aenderung ist es, welche sich zunächst der Wahrnehmung der Patienten aufdrängt. Gleichzeitig erfahren sie aber auch durch die Aussagen des Gesichtssinnes und Tastsinnes, dass in gleichem Maasse wie das Muskelgefühl auch die durch diese Sinne wahrnehmbaren mit bestimmten Innervationsgefühlen verbundenen Veränderungen geringer ausfallen, dass die sichtbaren Stellungsveränderungen der Glieder kleiner werden, dass die Verstärkung der Druckempfindung in einem gegen ein äusseres Object oder einen anderen Theil des Tastorgans bewegten Gliede kleiner ausfällt. Da nun erfahrungsgemäss dieselben Aenderungen der durch Gesichtssinn und Tastsinn wahrnehmbaren Folgen einer bestimmten Willensanstrengung im Normalzustand auch eintreten, wenn der Bewegung der Glieder durch eine entgegenwirkende Belastung Widerstand geleistet wird, entsteht bei den Patienten die Trugvorstellung einer grösseren Schwere der Glieder, wobei allerdings die directen Aussagen der Muskelgefühle gewissermaassen Lügen gestraft werden.

Nach alledem stehe ich nicht an, unter allen Hypothesen, durch welche man die Leistungen des sogenannten Muskelsinnes und zwar zunächst, soweit er als Kraftsinn fungirt, zu erklären versucht hat, diejenige, welche dieselben aus der Thätigkeit specifischer Sinnesnerven der Muskeln ableitet, immer noch für die bestbegründete, mit den Thatsachen am besten vereinbare zu erklären. Ein weiterer Ausbau der Hypothese, insbesondere die Beantwortung der Frage, in welcher Weise bei der Contraction der Muskeln die Erregung ihrer sensibeln Fasern zu Stande kommt, ist noch nicht möglich. Vermuthungen, wie die von Brown-Séquard ausgesprochene, dass der Reiz in der negativen Schwankung des Muskelstromes gegeben sei, entbehren jedes Haltes. Ob vielleicht ein Product des chemi-

schen Umsatzes im thätigen Muskel seine Sinnesnerven erregt, wie von Einigen ein chemischer Reiz als Ursache seiner Gemeingefühle vermuthet wird, oder ob in irgend welcher Weise durch die Aenderung der Form und Spannung der Muskelfasern eine mechanische Reizung vermittelt wird, muss vorläufig dahingestellt bleiben. In Bezug auf letztere Alternative ist zu bemerken, dass wir den reizenden Vorgang nicht einseitig in einer mit dem Umfang der Contraction proportional wachsenden Dehnung oder Compression der hypothetischen Empfindungsnervenenden suchen dürfen. Liessen sich auf dieses Moment auch die auf die Wahrnehmung der Stellung unserer Glieder und die Grösse der mit ihnen ausgeführten Bewegungen bezüglichen Leistungen des Muskelsinns, auf welche wir beim Ortssinn der Haut näher eingehen werden, zurückführen, so doch nicht seine Leistungen als Kraftsinn, von denen bisher vornehmlich die Rede war. Da uns derselbe über die relative Schwere zweier Gewichte auch dann belehrt, wenn wir dieselben durch Muskelcontractionen von gleichem Umfang zu gleichen Höhen erheben, müssen die Intensitätsdifferenzen der betreffenden Muskelgefühle von der Spannung und nicht vom Verkürzungsgrad der hebenden Muskeln abhängen.

VIERTES CAPITEL.

Der Ortssinn der Haut.

I. Der Ortssinn der Haut.

Unter Ortssinn oder Raumsinn der Haut begreift man das Vermögen, den durch Erregung der sensiblen Nerven der Haut erzeugten Empfindungen einen bestimmten Ort in dem räumlichen Vorstellungsbild unserer Körperoberfläche anzuweisen und zwar, dieselben in den peripherischen Endbezirk der erregten Nervenfasern in der Haut zu verlegen. Die Uebereinstimmung des vorgestellten Orts der Empfindung mit dem reellen Ort der Endigung der betreffenden Nervenfaser zeigt eine weitgehende Genauigkeit bei den Druck- und Temperatur-, d. h. den Sinnesempfindungen, welche von der Haut aus hervorgerufen werden, sie ist eine weniger vollkommene

bei den Gemeingefühlen, insbesondere den Schmerzempfindungen. Dass indessen die Lokalisation der Schmerzen, welche durch Reizung von Hautnerven entstehen, nicht lediglich auf der Localisation der gleichzeitigen, bewusst oder unbewusst die Schmerzen begleitenden Tastempfindungen beruht, geht daraus hervor, dass auch die von inneren, überhaupt keinen Tastsinn besitzenden Organen aus erzeugten Schmerzen sich mit Ortsvorstellungen verknüpfen, wenn auch mit äusserst ungenauen.

Trifft ein äusserer Reiz in möglichst beschränkter Ausdehnung eine Stelle des Tastorgans, berührt z. B. eine Zirkelspitze einen beliebigen Hautpunkt, so tritt vor das Bewusstsein gleichzeitig mit einer Druck- und Temperaturempfindung von beliebiger Intensität und unablöslich von derselben die Vorstellung von dem gereizten Ort; die Tastempfindung selbst scheint uns in demselben zu liegen, wir empfinden, wie der vulgäre Ausdruck lautet, Druck, Wärme oder Kälte an einem bestimmten Hautpunkt, auch ohne dass uns der Gesichtssinn denselben als Ort der Berührung nachweist. Aendert sich der Ort der Berührung, wird die berührende Spitze in irgend welcher Richtung über die ruhende Tastfläche fortbewegt, oder durch die Thätigkeit der Muskeln oder auch passive Bewegungen der Glieder die Tastfläche über dem ruhenden Object verschoben, so ändert sich der Ort der Empfindung, wir erhalten eine stetige Reihenfolge verschieden localisirter Eindrücke, aus denen die Seele die Vorstellung von der räumlichen Anordnung der successiv berührten Hautpunkte von der Richtung und Ausdehnung der Berührungsbahn combinirt. Treffen gleichzeitig zwei oder mehrere gesonderte punktförmige Eindrücke, deren Distanz über einem gewissen unten festzustellenden Minimum liegt, die Haut, so entsteht eine entsprechende Anzahl gesonderter Einzelempfindungen, deren jede mit einer bestimmten von derjenigen der anderen verschiedenen Ortsvorstellungen verbunden ist, vermöge deren die Seele neben der Zahl der Eindrücke auch die räumlichen Verhältnisse der gereizten Hautpunkte, ihre Distanz, die Richtung der zwischen ihnen gedachten Verbindungslinien wahrnimmt. Trifft die Haut eine Summe gleichzeitiger continuirlich nebeneinander gelagerter Eindrücke, berührt ein Object mit einer grösseren oder kleineren beliebig geformten Fläche die Haut, so combinirt die Seele aus den die Einzeleindrücke begleitenden Ortsvorstellungen die Wahrnehmung der Grösse und Gestalt der gereizten Hautfläche. Da wir alle Tastempfindungen objectiviren, übertragen wir auch die durch den Ortssinn erkannten räumlichen Verhältnisse der gereizten Hauttheile auf die als Ursachen der Empfindungen vorgestellten

Aussendinge, übersetzen sie in Vorstellungen von Abstand, Grösse, Gestalt derselben. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied des Raumsinnes der Haut gegenüber dem Raumsinn der Netzhaut. Während wir die Tastempfindungen zunächst im Sinnesorgan localisiren und erst von dieser Zwischenstation aus die Brücke zur Aussenwelt und ihren vorgestellten Inhalt schlagen, verlegen wir die durch Reizung der verschiedenen Netzhautpunkte erzeugten Lichteindrücke direct in die Aussenwelt, ordnen sie nach den ebenfalls unzertrennlich ihnen anhaftenden räumlichen Vorstellungen nicht in die gereizte Netzhautfläche, von deren Existenz und ursächlichen Beziehungen zu den Lichtempfindungen wir überhaupt keine directe sinnliche Kunde erhalten, sondern unmittelbar in einen vorgestellten äusseren Sehraum ein, construiren aus den Aussagen des Raumsinnes der Retina unmittelbar die Vorstellung der räumlichen Verhältnisse der Sehobjecte.

Die Localisirung der Tastempfindungen ist nicht gebunden an ihre Erzeugung durch äussere Sinnesreize, sie tritt in gleicher Weise ein, wenn durch Einwirkung innerer Reize auf die Enden der Tastnerven in der Haut dieselben erregt werden. Das Wärmegefühl z. B., welches durch vermehrte Blutzufuhr zu einer beschränkten Hautprovinz hervorgerufen wird, localisiren wir ebenso in derselben, als ob es durch erhöhte Wärmezufuhr von aussen entstanden wäre. Die Localisirung der Hautempfindungen ist aber auch nicht an die Einwirkung eines äusseren oder inneren Reizes auf die Enden der sensibeln Hautnerven gebunden; auch die Empfindungen, welche durch zufällige oder absichtliche Reizung der Hautnervenfasern, im Verlauf erweckt werden, verknüpfen sich ausnahmslos mit Ortsvorstellungen und zwar denselben, welche die Erregung der Enden der betreffenden Fasern auslöst. Wir verlegen einen Eindruck, welcher bei Reizung einer beliebigen Hautnervenfaser an einem beliebigen Punkt ihres Verlaufes zwischen Haut und Centralorgan entsteht, irrthümlich in den peripherischen Endbezirk der Faser. Trifft ein Stoss die Ellbogenhaut an der Stelle, wo unter ihr der Ulnarnerv über den Knochen verläuft, so entsteht neben der am Ort des Stosses empfundenen Druck- bez. Schmerzempfindung, welche in der gestossenen Haut ihren Ursprung hat, eine Schmerzempfindung in der Haut des Unterarms und der Ulnarseite der Hand; d. h. wir verlegen letztere (und wie wir oben S. 312 wahrscheinlich zu machen suchten, eine sie begleitende von ihr nur übertäubte Tastempfindung), welche durch die mechanische Reizung der im Stamm des Ulnarnerven an der bezeichneten Stelle verlaufenden Hautnervenfasern erzeugt wird,

in die vom Reizort entfernten Hautstellen, in welchen dieselben endigen. Ebenso empfindet ein Amputirter, wenn durch irgend welche Momente die durchschnittenen Nervenstämme im Wundstumpf gereizt werden, die erweckten Schmerzen in der Haut des fehlenden Gliedes. Ebenso beruht z. B. der bekannte in der Wangenhaut localisirte Gesichtsschmerz in der Regel auf einer Reizung des Infraorbitalnerven im Verlauf, sei es im Infraorbitalkanal oder höher oben. Man fasst alle analogen Thatsachen als Erscheinungen des „Gesetzes der excentrischen Perception zusammen.

II. Feinheit des Ortssinnes der Haut.

Die Fähigkeit der räumlichen Unterscheidung der Tasteindrücke, mit anderen Worten die Feinheit des Ortssinnes der Haut ist keine unbegrenzte und an verschiedenen Theilen des Tastorgans erheblich verschieden. Die nähere Untersuchung der Grenzen und Differenzen derselben ist aus einem doppelten Grund von hoher Bedeutung, einmal weil von der Feinheit des Raumsinns die Leistungsfähigkeit des Tastsinnes in der Auffassung der räumlichen Verhältnisse der seiner Prüfung unterworfenen Aussendinge abhängt, zweitens weil die Erklärung derselben im innigsten Zusammenhang mit der Theorie des Raumsinnes überhaupt steht. E. H. Weber [1] war der Erste, welcher nicht allein ein unanfechtbares Princip der Messung der Feinheit des Ortssinnes aufgestellt und nach demselben die Grenzen derselben für die verschiedenen Hautregionen bestimmt, sondern auch eine Erklärung des thatsächlichen Befundes gegeben hat, welche trotz mannigfacher Missverständnisse und Anfechtungen heute noch unerschüttert feststeht und das Hauptfundament einer haltbaren Theorie des Raumsinnes darstellt.

Das Maassprincip ist demjenigen analog, nach welchem Weber die Feinheit des Drucksinnes ermittelte. Wir messen die Feinheit des Ortssinnes indem wir bestimmen, wie klein die Distanz zweier gleichzeitig die Haut treffender punktförmiger Eindrücke gemacht werden kann, ohne dass ihre gesonderte Wahrnehmung aufhört, sie zu einem scheinbar einfachen Eindruck verschmelzen, mit anderen Worten, welches der minimale Abstand zweier Hautpunkte ist, deren Reizung noch deutlich verschiedene Ortsvorstellungen erweckt. In Anwendung der Fechner'schen Terminologie bezeichnet man diese Minimaldistanz kurz als „Raumschwelle“. Weber's Verfahren,

1 E. H. Weber, Annot. anat. S. 149, Handwörterb. d. Phys. III. 2. Abth. S. 524; Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1852. S. 85.

dieselbe zu bestimmen, besteht darin, dass der Haut gleichzeitig die beiden abgestumpften Spitzen eines Zirkels leise aufgesetzt werden, und die Oeffnung des Zirkels solange verkleinert wird, bis die Versuchsperson (bei geschlossenen Augen) eben nicht mehr die Duplicität der Eindrücke wahrnimmt, sondern einen einfachen Eindruck, welcher jedoch im Beginn der Verschmelzung noch eine längliche Gestalt zu haben scheint, mit erkennbarer der Richtung der Zirkelspitze entsprechender Richtung der Längsachse.

Die Ausführung der Messungen nach diesem Princip kann nach denselben verschiedenen Methoden, welche wir bereits oben S. 337 kritisirt haben, erfolgen, nach der Methode der eben merklichen Unterschiede, welche Weber selbst verwendete, oder nach der Methode der richtigen und falschen Fälle, welche besonders von den späteren Experimentatoren benutzt worden ist, und bei richtiger Berechnung der Resultate eine grössere Genauigkeit der Messung giebt.[1]

Ein zweites von Weber angegebenes Verfahren, die Feinheit des Raumsinnes zu messen, besteht darin, dass man die Versuchsperson an einer Hautstelle mit einer stumpfen Spitze berührt und ihr die Aufgabe stellt, durch Aufsetzen einer Sonde den Ort der Berührung anzuzeigen. Je stumpfer der Ortssinn, desto mehr differirt der angezeigte von dem berührten Ort; die aus vielen Einzelbeobachtungen gezogenen Mittel dieser Differenzen an den verschiedenen Hautstellen liefern ein Maass der Differenzen der Feinheit ihres Ortssinnes. Dieses Verfahren ist bei weitem umständlicher und in Folge mehrfacher Umstände weniger zuverlässig als das erste.

Weber fand bei seinen über den ganzen Körper ausgedehnten Bestimmungen überraschend grosse Differenzen der Feinheit des Ortssinnes verschiedener Regionen; es verhielten sich die niedrigsten zu den höchsten beobachteten Werthen etwa wie 1:60. Den feinsten Ortssinn fand er an der Zungenspitze nächstdem an der Haut der Volarseite der letzten Fingerglieder, den stumpfesten an der Rückenhaut. Während an der Zungenspitze ein doppelter Eindruck noch bei einem Abstand der Zirkelspitzen von ½‴, an den bezeichneten Theilen der Fingerhaut bei einem Abstand von 1‴ wahrgenommen wurde, gehörte an der Rückenhaut zur Erzeugung eines doppelten Eindrucks ein Abstand von 30‴. Im Allgemeinen fand er die Feinheit des Ortssinnes proportional dem Grade, in welchem die verschiedenen Theile des Tastorgans durch ihre Lage, Umfang und Vielseitigkeit der Beweglichkeit durch willkürliche Muskelaction zu activen Tastoperationen befähigt sind und dementsprechend factisch verwendet werden. Die Details der Weber'schen Messungsresultate ergeben

1 Vgl. G. E. Müller, Arch. f. d. ges. Physiol. XIX. S. 191. 1879.

sich aus folgender von ihm selbst gegebenen tabellarischen Uebersicht, in welcher die zu den einzelnen Hautstellen gehörigen Zahlen die die Raumschwelle repräsentirende Distanz der Zirkelspitzen in Par. Linien ausdrücken, die Hautstellen nach der abnehmenden Feinheit des Ortssinnes geordnet sind.

Zungenspitze	½
Volarseite des letzten Fingerglieds	1
Rother Theil der Lippen	2
Volarseite des zweiten Fingerglieds	2
Dorsalseite des dritten Fingerglieds	3
Nasenspitze	3
Volarseite der Cap. ossium metacarpi	3
Mittellinie des Zungenrückens 1 Zoll hinter der Spitze	4
Zungenrand 1 Zoll hinter der Spitze	4
Nicht rother Theil der Lippen	4
Metacarpus des Daumens	4
Plantarseite des letzten Zehenglieds	5
Rückenseite des zweiten Fingerglieds	5
Backen	5
Aeussere Oberfläche des Augenlids	5
Mitte des harten Gaumens	6
Haut über dem vorderen Theil des Jochbeins	7
Plantarseite des Mittelfussknochens der grossen Zehe	7
Dorsalseite des ersten Fingerglieds	7
Dorsalseite der Cap. ossium metacarpi	8
Innere Oberfläche der Lippen	9
Haut über dem hinteren Theil des Jochbeins	10
Unterer Theil der Stirn	10
Hinterer Theil der Ferse	10
Behaarter unterer Theil des Hinterhaupts	12
Rücken der Hand	14
Hals unter der Kinnlade	15
Scheitel	15
Kniescheibe und Umgebung	16
Kreuzbein	18
Haut über den Glutäen	18
Unterarm	18
Unterschenkel	18
Fussrücken in der Nähe der Zehen	18
Brustbein	20
Nackenhaut	24
Rückenhaut über den 5 oberen Brustwirbeln	24
„ in der Lenden- und unteren Brustgegend	24
„ an der Mitte des Halses	30
„ „ „ „ „ Rückens	30
Mitte des Oberarms und Oberschenkels	30

An Armen und Beinen fand Weber eine grössere Feinheit des

Ortssinnes in der Querrichtung, als in der Längsrichtung; die Zirkelspitzen mussten, um eine Doppelempfindung zu erzeugen, erheblich weiter von einander entfernt werden, wenn sie parallel der Längsachse der Glieder, als wenn sie rechtwinklig zu derselben aufgesetzt wurden.

WEBER machte ferner folgende, für die Theorie bedeutsamen Beobachtungen, welche beweisen, dass zu der reellen Grösse der kleinsten wahrnehmbaren Distanz die vorgestellte Grösse einer gegebenen grösseren Distanz zweier Eindrücke im bestimmten umgekehrten Verhältniss steht. Setzt man die Zirkelspitzen in einer Distanz von 3/4 Zoll senkrecht übereinander auf die Wangenhaut dicht vor dem Ohr, so entsteht die Vorstellung einer nur einfachen Berührung. Bewegt man sodann (selbstverständlich bei unbefangenen Personen, welche weder sehen noch wissen wie gross die Zirkelöffnung) die Zirkelspitzen bei ungeänderter Distanz in steter Berührung mit der Haut quer über das Gesicht gegen die Mitte, so dass schliesslich die eine einen Punkt über der Mitte der Oberlippe, die andere einen solchen über der Unterlippe berührt, so scheint sich während der Bewegung der einfache Eindruck in einen doppelten zu spalten, und die beiden Eindrücke successiv weiter auseinander zu weichen, die Zirkelspitzen also scheinbar divergirende Bahnen zu beschreiben. Setzt man die Bewegung in gleicher Weise nach der anderen Seite fort, bis die Zirkelspitzen vor dem anderen Ohr anlangen, so scheint ihre Distanz sich wieder allmälig zu verringern, bis endlich der Doppeleindruck wieder zu einem einfachen verschmilzt. Bei dieser Bewegung gehen die Spitzen von Stellen stumpfen Ortssinnes zu solchen von successiv feinerem Ortssinn über, und gleiten jenseits der Mittellinie ebenso allmälig über Stellen von abnehmender Feinheit des Ortssinnes hinweg, woraus sich die oben ausgesprochene nächste Deutung der Thatsache ergiebt. Dieselbe Täuschung kehrt an anderen Stellen des Tastorganes, welche gleiche Bedingungen darbieten, wieder; z. B. so scheinen die Zirkelspitzen, wenn wir sie quer in einer Distanz von 5''' auf der Volarseite einer Fingerspite aufsetzen, und allmälig gegen die Handwurzel verschieben, sich einander zu nähern und endlich zu einer einfachen Spitze zu vereinigen.

Von den nach WEBER von anderen Experimentatoren ausgeführten Bestimmungen der Feinheit des Ortssinnes stellen wir diejenigen Resultate kurz zusammen, welche als Argumente in der folgenden theoretischen Erörterung von Belang sind.

Zunächst erwähnen wir eine Angabe VALENTIN's, nach welcher

dieselben Hautstellen bei verschiedenen Personen sehr verschiedene (bis um das Vierfache differirende) Werthe der Raumschwelle ergeben, während die relativen Werthe derselben für verschiedene Hautstellen annähernd gleich sich herausstellen.

Von höchstem Interesse ist der von VOLKMANN[1] gelieferte Nachweis einer beträchtlichen Verfeinerung des Ortssinnes durch Uebung. Nachdem bereits früher für einen solchen Einfluss der Uebung die Thatsache geltend gemacht war (CZERMAK[2]), dass Blinde, welche in Folge des Wegfalls des Raumsinnes der Augen für die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse ausschliesslich auf die Verwendung des Ortssinnes der Haut (in Verbindung mit dem Muskelsinn) angewiesen sind, einen so hohen Grad der Feinheit desselben erreichen, dass sie z. B. mit der tastenden Fingerspitze das Gepräge einer Münze zu erkennen im Stande sind, ferner die Thatsache, dass auch bei Sehenden, welche ihr Beruf zu einer regelmässigen Anwendung des Ortssinnes der Tastorgane nöthigt, derselbe sich aussergewöhnlich verfeinert, sodass z. B. geübte Schriftsetzer mit Leichtigkeit die Buchstabenform der Lettern durch ihn erkennen, hat VOLKMANN zuerst durch methodische Versuche, Grösse und Gang dieses Erfolgs der Uebung festgestellt. Wurde bei einer Person an 6 verschiedenen Hautstellen unmittelbar nacheinander der Werth der Raumschwelle bestimmt, und diese Versuchsreihe ohne Pausen (mit alternirender Reihenfolge der Hautstellen) öfters wiederholt, so zeigte sich constant bei jeder neuen Reihe eine Verkleinerung jenes Werthes für jede Hautstelle, welche für eine Hautstelle unter Umständen im Verlauf von 7 Reihen also innerhalb weniger Stunden bis zur Hälfte der ursprünglichen Grösse ging. Der Fortschritt war im Anfang ein langsamer, beschleunigte sich im Laufe der Uebung, um sich dann wieder bis zum Stillstand zu verlangsamen; an vorher schon durch den täglichen Gebrauch geübten Hautstellen war der Erfolg von Anfang an ein rascherer. Die durch einmalige Uebungsreihen erzielte Verfeinerung war jedoch keine bleibende, jede Pause der Nichtübung erhöhte die Grösse der Raumschwelle wieder, um so mehr, je länger ihre Dauer; nach monatelangen Pausen zeigte sich der Ortssinn wieder auf seinen ursprünglichen Grad der Feinheit reducirt.

Ein überraschendes Resultat der Beobachtungen VOLKMANN's ist, dass der Erfolg der an einer bestimmten Hautstelle einer Seite vorgenommenen Uebung auch der nicht direct geübten symmetrischen Hautstelle der an-

---

1 VOLKMANN, Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1858.

2 CZERMAK, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. XVII. S. 563; Molesch. Unters. I. S. 188.

deren Seite zu Gute kommt. Betrug z. B. zu Anfang einer Uebungsperiode die kleinste wahrnehmbare Distanz an einer linken Fingerspitze 0,75''' und an der entsprechenden rechten Spitze 0,85''', und wurde dieselbe durch eine ausschliessliche Uebung des linken Fingers auf 0,45''' herabgesetzt, so zeigte sie sich auch am rechten Finger auf 0,4''' gesunken. Diese Thatsache, deren nächste Deutung sich auf die von vornherein äusserst wahrscheinliche nahe Verwandtschaft der die räumliche Unterscheidung bedingenden Momente an symmetrischen Hautstellen gründet, findet ein interessantes Analogon in einer entsprechenden Mitübung symmetrischer Muskeln, auf welche E. H. Weber aufmerksam gemacht hat. So ist z. B. die Uebung der rechten Handmuskeln, welche die Schreibbewegungen ausführen, den correspondirenden Muskeln der linken Hand soweit zu Gute gekommen, dass dieselbe ziemlich correkt mit der rechten Hand mitzuschreiben vermag, aber nur in symmetrischen (von rechts nach links) nicht in congruenten Bewegungen.

Für die Erklärung der Differenzen des Ortssinnes schien es mir wünschenswerth zu prüfen, wie weit eine Verfeinerung desselben durch Uebung auch an solchen Hautstellen, an welchen die Raumschwelle die höchsten Werthe zeigt, und welche durch ihre Lage und Unbeweglichkeit von einer Uebung im täglichen Gebrauch ausgeschlossen sind, zu erzielen sei. Ich habe daher an einer Person längere Zeit hindurch tägliche Uebungsreihen an der Haut des Rückens zwischen den Schulterblättern und in der Lendengegend angestellt. Der Erfolg war ein weit geringerer und langsamerer als an den von Volkmann untersuchten Stellen. Im Laufe einer Reihe zeigte sich oft gar keine sichere oder nur eine sehr geringe Herabsetzung des Raumschwellenwerthes, und erst nach einem Monate zeigte sich derselbe um etwa ein Viertheil vermindert. Da ich die Versuche abzubrechen genöthigt war, konnte ich nicht bestimmen, bei welchem Minimalwerth der Uebungserfolg seine Grenze erreichte. Dabei bestätigte sich die Beobachtung Weber's, dass in der Mittellinie des Rumpfes der Ortssinn nicht feiner, als in den seitlichen Partien derselben Region ist, d. h. dass die Mittellinie nicht eine scharfe Grenze rechts- und linksseitiger Ortsvorstellungen bildet, wie man bei der notorischen scharfen Sonderung der rechts- und linksseitigen Tastnervenbahnen erwarten sollte. Wurde z. B. beim Aufsetzen der Zirkelspitzen in einer Distanz von 20''' rechts oder links von einem der unteren Brustwirbel ein einfacher Eindruck wahrgenommen, so entstand ein solcher auch, wenn die Spitzen bei gleicher Distanz symmetrisch zur Mittellinie aufgesetzt wurden. Der einfache Eindruck wurde in diesem Fall in der Mitte localisirt, um nach rechts oder links verlegt zu werden, sobald die Zirkelspitzen soweit nach rechts oder links verschoben wurden, dass der grössere Theil ihrer Distanz auf die eine oder andere Seite des Rumpfes fiel.

Ausserordentlich sorgfältige umfassende Bestimmungen hat Vierordt mit seinen Schülern Kottenkamp und Ullrich, Paulus, Riecker und Hartmann[1] angestellt, um die gesetzmässige Abhän-

[1] C. Vierordt, Arch. f. d. ges. Physiol. II. S. 297. 1869, Ztschr. f. Biologie VI. S. 53. 1870; Kottenkamp u. Ullrich, ebendas. S. 37; Paulus, ebendas. VII. S. 237.

gigkeit der successiven Abstufung der Feinheit des Ortssinnes innerhalb bestimmter Abschnitte des Tastorgans von einem Moment, dessen Beziehung zum Raumsinn sich bereits aus den früheren von WEBER und VALENTIN ermittelten Werthen zu ergeben schien, sicher zu erweisen. Nach VIERORDT ist die relative Feinheit des Ortssinnes eines bestimmten Hautpunktes eines Körpertheils im Verhältniss zum Ortssinn der übrigen Punkte desselben Theils eine Function seiner Beweglichkeit, hängt ab von der relativen Grösse der Excursionen, welche er bei den Bewegungen des betreffenden Theils um die zugehörige Achse ausführt, wächst also proportional mit seinem Abstand von der Drehachse. Dieses Abhängigkeitsverhältniss gestaltet sich einfach bei Körpertheilen, welche immer als Ganzes um eine bestimmte Achse bewegt werden; es complicirt sich dagegen bei Körpertheilen, welche einmal als Ganzes bewegt werden, zugleich aber aus Unterabtheilungen bestehen, von denen jede für sich um eine besondere Achse bewegt wird. Es complicirt sich ferner bei Theilen, welche in verschiedenem Sinne um verschiedene Achsen drehbar sind. In ersterem Fall wirkt auf den Feinheitswerth des Ortssinnes eines Hautpunktes ebensowohl sein Abstand von der Hauptachse des ganzen Gliedes als von der Specialachse der Abtheilung, welcher er angehört, bestimmend ein; mit anderen Worten: es zeigt sich einmal eine successive Zunahme der Feinheit des Ortssinnes von der Hauptachse bis zum davon entferntesten Punkt des gesammten Gliedes, zweitens zeigt sich aber auch an jeder Abtheilung für sich ein dem Gesetz entsprechendes Wachsthum der Feinheit von der Sonderachse derselben bis zu ihrem entgegengesetzten Ende. Im zweiten Fall tritt eine Interferenz der verschiedenen Bewegungseinflüsse auf den Ortssinn eines bestimmten Hautpunkts ein; die Feinheit desselben wird eine resultirende aus den Einzelwerthen, welche von den verschiedenen Bewegungen für sich bedingt sein würden. Würde z. B. ein Glied ebenso oft und in ebenso grossen Excursionen um sein oberes wie um sein unteres Ende gedreht, so würde die eine Bewegung eine Zunahme der Feinheit des Ortssinnes von oben nach unten, die andere eine ebenso grosse von unten nach oben bedingen; beide Einflüsse müssten sich zu Null compensiren, die Feinheit des Ortssinnes demnach in der ganzen Länge des Gliedes gleich gross sein. In der That stimmen nun die factischen Abstufungen des Ortssinnes der einzelnen Körperregionen, wie sie sich aus den Bestimmungen von VIERORDT und seinen Schülern ergeben,

1871; RIECKER, ebendas. IX. S. 95. 1873, X. S. 177. 1874; HARTMANN, ebendas. XI. S. 79. 1875.

ziemlich gut zu diesem Gesetz, lassen sich nach den erörterten Gesichtspunkten ohne Zwang aus den thatsächlichen Bewegungsverhältnissen derselben ableiten. Nur in der Nähe der Gelenke zeigen sich unbedeutende Sprünge in den Veränderungen der Feinheit des Ortssinnes, welche aus anderen Momenten erklärt werden müssen. Um die sehr verschiedene Geschwindigkeit, mit welcher an verschiedenen Gliedern oder verschiedenen Abtheilungen eines Gliedes die Feinheit des Ortssinnes mit gleichen Abständen von den Drehachsen zunimmt, erklären zu können, ist es nothwendig, ausser der Excursionsweite der einzelnen Hautpunkte bei bestimmten Bewegungen auch der Geschwindigkeit und der Häufigkeit mit welcher diese Bewegungen bei dem regelmässigen Gebrauch der Glieder ausgeführt werden, einen bestimmenden Einfluss zuzuerkennen.

Ohne uns hier schon auf eine nähere Deutung des VIERORDT-schen Gesetzes einzulassen, bemerken wir nur, dass es naheliegt, das Moment, welches dem darin ausgesprochenen Einfluss der Beweglichkeit zu Grunde liegt, in der Uebung zu suchen, die Verfeinerung des Ortssinnes mit der an Umfang und Häufigkeit zunehmenden Betheiligung der Hautpunkte an den activen Bewegungen der Körpertheile theils auf die Erfolge individueller Uebung, theils auf einen durch Vererbung aufgespeicherten Gewinn der Uebung fortlaufender Generationen zurückzuführen.

Zur näheren Beleuchtung des Gesetzes und als Belege seiner Bewährung stellen wir kurz die wichtigsten Ergebnisse der von VIERORDT und seinen Schülern ausgeführten Bestimmungen zusammen.

Am Arme ergab sich, seiner Drehung als Ganzes im Schultergelenk entsprechend, eine ununterbrochene Zunahme der Feinheit des Ortssinnes vom Acromion bis zu den Fingerspitzen, aber mit sehr verschiedener Geschwindigkeit in den einzelnen Abtheilungen. Setzt man den am Acromion gefundenen Ortssinneswerth = 100, so wächst er bis zur Volarseite der Fingerspitze bis auf 2582. Das Wachsthum ist ein sehr geringes am Oberarm (auf 151), rascher am Unterarm (auf 272), noch rascher an der Hand (auf 659), und am raschesten an den Fingern (auf 2582 am 2.—5. Finger, auf 2417 am Daumen). Betrachtet man nach VIERORDT die vergleichbaren Werthe an jeder einzelnen Abtheilung als Summen zweier Grössen, einer constanten unmittelbar an der Gelenkachse rein hervortretenden und einer dazu sich addirenden variabeln Grösse, welche den Abständen von der Gelenkachse proportional ist, so ergiebt sich in Betreff der letzteren Grössen, dass in gleichen Abständen von den betreffenden Achsen sich die Feinheitszuwüchse an Oberam, Unterarm, Hand und Fingern wie 1 : 3,5 : 29 : 160 verhalten. Auch an den Fingern selbst ist die Geschwindigkeit des Wachsthums an den einzelnen Phalangen nicht gleich gross, am grössten an der dritten. Die Momente, aus welchen sich diese Verschiedenheiten erklären, ergeben sich von selbst aus den

oben erörterten Gesichtspunkten. Die grössere Feinheit des Ortssinnes in der Querrichtung gegenüber der Längsrichtung, welche bereits WEBER constatirt hatte, bestätigte sich; die Unterschiede waren auffallender an der Dorsalseite als an der Volarseite. Nach VIERORDT's Gesetz steht zu erwarten, dass auch die verschiedene Beweglichkeit der einzelnen Hautpunkte bei den Rotationen der einzelnen Armabtheilungen um Längsachsen von Einfluss auf den Ortssinn ist, dass demnach in gleichen Abständen von den Gelenken die verschiedenen Punkte der Peripherie einer Abtheilung je nach ihren grösseren oder kleineren Excursionen Differenzen des Ortssinneswerthes zeigen werden. Von VIERORDT und seinen Schülern ist diese auf das Gesetz begründete Voraussetzung nicht berücksichtigt worden. Möglicherweise sind im Sinne derselben die Verschiedenheiten der Ortssinneswerthe zu deuten, welche KLUG[1] auf gleichen Höhen der einzelnen Abtheilungen an der Radial- und Ulnarseite und der Mitte der Volar- und Dorsalseite fand, z. B. die grössere Feinheit des Ortsinnes in der Gegend des Handgelenks an der Radialseite als an der Ulnarseite.

An den unteren Extremitäten ergaben die Bestimmungen von PAULUS und RIECKER im Allgemeinen eine Zunahme der Feinheit des Ortssinnes vom Hüftgelenk gegen die Zehenspitzen zu, jedoch mit dem Unterschied, dass dieselbe erstens nicht so beträchtlich wie am Arm sich ergab (nur von 100 auf 850) und zweitens, dass sie keine stetige ist. Erstere Abweichung erklärt sich aus dem geringeren Umfang, der geringeren Geschwindigkeit und Häufigkeit der Bewegungen der Beine und ihrer Abtheilungen (vor allen der Zehen); aber auch die zweite ist im Einklang mit dem Gesetz. Während am Oberschenkel die Feinheit des Ortssinnes stetig wenn auch langsam (nur in der Nähe des Kniees etwas rascher) vom Hüftgelenk gegen das Kniegelenk ansteigt, proportional den Abständen von der Achse der häufigsten Oberschenkelbewegungen (d. h. Streckung und Beugung, Ab- und Adduction) im Hüftgelenk, während ebenso am Fussrücken und den Zehen die Ortsempfindlichkeit stetig mit dem Abstand von den oberen Gelenkenden stieg, am raschesten an Zehen, fand PAULUS am Unterschenkel in der Richtung von oben nach unten anfangs ein Sinken der Ortsempfindlichkeit bis gegen die Mitte, und von da an wieder ein Ansteigen bis auf den am Knie gefundenen Werth, RIECKER dagegen im ganzen Verlauf des Unterschenkels nahezu dieselbe Feinheit des Ortssinnes. Nehmen wir letzteres Verhalten als das normale an, so erklärt sich dasselbe aus der oben besprochenen Compensation zweier entgegengesetzter, nahezu gleich grosser Bewegungseinflüsse. Bei allen Beugungs- und Streckungsbewegungen des Unterschenkels im Kniegelenk gegen den fixirten Oberschenkel nimmt die Grösse der Excursion der einzelnen Theile vom Knie nach dem Fussgelenk zu, fordert also nach dem Gesetz Zunahme der Ortsempfindlichkeit in der gleichen Richtung. Bei allen Bewegungen dagegen, bei welchen der Unterschenkel um die Achse des Fussgelenks oder eine durch die Basen der Zehen gehende Achse rotirt, wie dies regelmässig beim Gehen geschieht, während der Rumpf durch eine solche Drehung des stützenden Beines vorwärts bewegt wird, nehmen umgekehrt die Excursionen der Unterschenkeltheile von

1 F. KLUG, Arch. f. Physiol. von E. DU BOIS-REYMOND, S. 275. 1877.

unten nach oben zu und bedingen demnach an sich eine vom Fuss gegen das Knie hin wachsende Verfeinerung des Ortssinnes. Aus der Compensation dieser beiden entgegengesetzten Einflüsse muss bei gleicher Mächtigkeit derselben Gleichheit der Feinheit des Ortssinnes in der ganzen Länge des Unterschenkels resultiren.

Am Kopf gestalten sich in Folge der Mannigfaltigkeit seiner selbständigen und mit anderen Körperabschnitten gemeinsamen Bewegungen und der entsprechenden grossen Zahl der verschieden gerichteten zum Theil sehr weit von einander entfernten Achsen die Verhältnisse, welche im Sinne des Vierordt'schen Gesetzes in Betracht kommen, ausserordentlich complicirt, die Einflüsse der verschiedenen Bewegungen auf die Feinheit des Raumsinnes eines bestimmten Punktes der Kopfhaut so verschieden gross und so mannigfach interferirend, dass die strenge Ableitung der factischen Werthe des Ortssinnes der Kopfhaut aus dem Gesetz zu einem sehr verwickelten Problem wird. Wir erinnern nur daran, dass der Kopf nicht allein selbständig um horizontale an der Basis des Hinterhaupts oder in der Halswirbelsäule gelegene Achsen gebeugt und gestreckt, und um eine durch den Zahnfortsatz des zweiten Halswirbels gehende Verticalachse gedreht, sondern auch zugleich mit dem Rumpf gegen die Beine, oder mit dem ganzen Körper gegen die Füsse in verschiedenen Richtungen und Umfang bewegt wird. Trotzdem hat Riecker die Bewährung des Gesetzes auch für die Kopfhaut im Allgemeinen demonstrirt, die geringen Unterschiede der Feinheit des Ortssinnes an allen nicht selbstbeweglichen Kopftheilen (die höchsten und die niedrigsten Werthe verhalten sich nur wie 1 : 1,6) aus der Compensation der verschiedenen Bewegungseinflüsse erklärt. So folgt z. B. aus dem Gesetz die stetige Zunahme der Ortsempfindlichkeit der Wangenhaut vom Ohr gegen die Lippen hin, wie sie in dem oben beschriebenen Weber'schen Versuch sich zeigt. Ebenso erklären sich aus dem Gesetz die grösseren Differenzen, welche die für sich beweglichen Theile, wie Lippen und Zunge zeigen; es kommt rein zur Erscheinung in der schon von Weber constatirten stetigen raschen Abstumpfung des Ortssinnes der Zunge von der Spitze gegen die Basis hin. In Betreff der Details dieser Verhältnisse wie auch derjenigen, welche den Ortssinn der Rumpfhaut und seine Beziehungen zum Vierordt'schen Gesetz betreffen, müssen wir auf die citirten Specialarbeiten verweisen.

Aus den Beobachtungen, welche über Veränderungen der Feinheit des Ortssinnes einer bestimmten Hautstelle unter dem Einfluss verschiedener Bedingungen (ausser dem bereits besprochenen Uebungseinfluss) gemacht worden sind, heben wir folgende hervor.

Lichtenfels[1] fand beträchtliche Abstumpfung des Ortssinnes in Folge der Einwirkung narkotischer Gifte auf die Centralorgane, so beim Erwachen aus der Chloroformnarkose, nach Einnahme von Alkohol, Morphium oder Atropin.

Brown-Séquard[2] fand in einem Fall, in welchem eine beträchtliche Hyperästhesie der Fusshaut für die Schmerzenseindrücke wie für Tem-

1 Lichtenfels, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. XVI. S. 3.
2 Brown-Séquard, Journ. d. Physiol. I. p. 344. 1858.

peraturreize vorhanden war, eine enorme Verfeinerung des Raumsinnes, eine Herabsetzung des Raumschwellenwerthes, welchen er im Normalzustand zu 24—28 Mm. annimmt auf 5 Mm.

Suslowa [1] beobachtete Herabsetzung der Ortsempfindlichkeit, wenn die zwischen den Zirkelspitzen befindliche Hautpartie durch Inductionsströme oder durch leichte mechanische Reize (Bestreichen mit einem Pinsel) gereizt wurde. Bei Durchleitung constanter Ströme durch die Haut zeigt sich der Raumsinn in der Umgebung der Kathode erhöht, an der Anode herabgesetzt. Ferner beobachtete sie Verfeinerung des Ortssinnes, wenn die Haut in indifferente Flüssigkeiten (Wasser, Oel) von der Temperatur der Haut eingetaucht wurde.

Alsberg [2] fand sowohl bei Hyperämie als bei Anämie der Haut Verminderung der Feinheit ihres Raumsinnes.

III. Theorie des Ortssinnes der Haut.

Soweit die Thatsachen, und nun zu ihrer Erklärung, zur Beantwortung der Fragen: Wie kommt überhaupt eine Raumvorstellung zu Stande, welche mit unfehlbarer Nothwendigkeit an jede durch Reizung einer Tastnervenfaser erzeugte Druck- oder Temperaturempfindung sich anschliessend, der Seele die Kenntniss vom gereizten Ort verschafft? Welches sind die Bedingungen der Verschiedenheiten dieser Raumvorstellungen, auf denen die Unterscheidung der verschiedenen Reizorte, die Erkenntniss ihrer relativen Lage und Entfernungen beruht, deren Gesammtheit dem räumlichen Vorstellungsbild unserer Leibesoberfläche zu Grunde liegt? Welches sind die Momente, von denen die factische Verschiedenheit der Feinheit der Unterscheidung der Reizorte an verschiedenen Hautstellen abhängt? Es liegt auf der Hand, dass diese Fragen Probleme enthalten, deren Lösung durchaus nicht ausschliessliche Aufgabe der Physiologie des Tastsinnes ist, sondern auf welche eine einheitliche, in ihren Grundzügen für alle Sinne, in deren Gebiet räumliche Wahrnehmungen auftreten, gültige Antwort zu suchen ist, dass der Ursprung der Raumvorstellungen, welche sich mit den Lichtempfindungen associiren, auf dieselben Grundprincipien zurückgeführt werden muss, welche für den Raumsinn des Tastorganes gelten, wenn auch die Art der Realisirung dieser Principien in verschiedenen Sinnessphären eine verschiedene ist. Der Raumsinn der Haut und derjenige der Netzhaut sind daher nur zwei verschiedene Aeusserungsarten eines allgemeinen Raumsinnes. Wenn daher eine allgemeine Raumsinneslehre ihre thatsächlichen Unterlagen sowohl, als das Material ihrer Argumen-

---

1 N. Suslowa, Ztschr. f. rat. Med. (3) XVII. S. 155. 1863.

2 Alsberg, Unters. über den Raum- u. Temperatursinn. Inaug.-Diss. Marburg 1863; Centralbl. f. d. med. Wiss. 1864. S. 66.

tationen gleichmässig in den verschiedenen Sondergebieten der speciellen Sinne, welche räumliche Wahrnehmungen liefern, aufzusuchen hat, muss andererseits die specielle Theorie des Ortssinnes der Haut nothwendig auf den allgemeinen Principien aufgebaut, und kann eine eingehende kritische Erörterung derselben um so weniger bei ihrer Darstellung umgangen werden, als dieses ihr Fundament durchaus nicht sicher festgestellt ist, sondern von Seiten der Philosophie wie der Physiologie die widersprechendsten Gestaltungen erhalten hat, die sich heute noch in unentschiedenem Kampfe schroff gegenüberstehen. Wir können uns demnach trotz der uns gebotenen Kürze der Forderung solcher Ausblicke in die allgemeine Raumsinneslehre unmöglich entziehen, obwohl wir dabei Gefahr laufen, Erörterungen, die nothwendig bereits in der Lehre vom Raumsinn des Auges Platz gefunden haben, zu wiederholen, möglicherweise sogar im Conflict mit den dort vertretenen Anschauungen.

Einen festen Ausgangspunkt der Theorie des Raumsinnes der Haut (wie des Auges) bietet meines Erachtens eine von E. H. Weber zunächst zur Erklärung der endlichen Begrenzung der Feinheit des Ortssinnes und ihre thatsächlichen Verschiedenheiten an verschiedenen Stellen des Tastorgans aufgestellte Hypothese, d. i. die Hypothese von anatomisch gegebenen „Empfindungskreisen“, eine Hypothese, welche, von Weber folgerichtig aus unbestreitbaren Prämissen abgeleitet und mit den Thatsachen in vollen Einklang gebracht, trotzdem von verschiedenen Seiten zum Theil auf Grund von Missverständnissen bekämpft und verworfen worden ist, welche aber nach meiner festen Ueberzeugung heute noch unerschüttert feststeht und von keiner Seite durch eine besser begründete hat ersetzt werden können. Der unanfechtbare Vordersatz, von welchem Weber ausgeht, lautet, dass eine und dieselbe Nervenfaser, wenn sie gleichzeitig von mehreren gesonderten Reizen von verschiedenen Orten aus in Erregung versetzt wird, unter allen Umständen nur eine in jeder Beziehung einfache Empfindung, nicht mehrere gleichzeitige discrete Empfindungen, an welche sich verschiedene Ortsvorstellungen anknüpfen können, hervorzubringen vermag, gerade so, wie ein und derselbe Telegraphendraht nicht zwei oder mehrere Ströme, welche ihm gleichzeitig zugeführt werden, gesondert zu leiten und in gesonderte Depeschen umsetzen kann. Allerdings hat Volkmann wiederholt gegen die Gültigkeit dieses Satzes Einsprache erhoben und aus dem thatsächlichen Verhalten des Raumsinnes der Netzhaut den Beweis zu führen gesucht, dass in einer Nervenfaser mehrere gleichzeitige Erregungen gesondert nebeneinander herzulaufen vermögen,

allein ich glaube, alle seine angeblichen Beweise sind so gründlich und schlagend als irrig widerlegt, dass wir von einer Vertheidigung des WEBER'schen Vordersatzes gegen dieselben absehen dürfen. Aus diesem Satz folgt, dass eine Hautprovinz, welche ihre Empfindlichkeit einer einzigen in ihrem Rayon mit einfachen oder mehrfachen Enden endigenden Nervenfaser verdankt, niemals zwei gleichzeitige in ihren Bereich auftreffende Eindrücke zur gesonderten Wahrnehmung mit Beziehung auf zwei gesonderte Reizorte bringen kann, sondern stets zu einem einfachen Eindruck mit einfacher Ortsvorstellung verschmelzen muss. Eine solche als Endgebiet je einer Tastnervenfaser anatomisch definirte Hautabtheilung nennt WEBER einen Empfindungskreis, und betrachtet daher die gesammte Hautoberfläche als eine continuirliche Mosaik solcher stehender Empfindungskreise von verschiedenem Durchmesser je nach dem Umfang des jeder Nervenfaser zugewiesenen Weichbildes, von kleinerem Durchmesser daher an nervenreichen Hautpartien, als an solchen, welche spärlicher, in grösseren Abständen von Nervenfasern beschickt werden. Diese anatomische Gliederung des Tastorgans bildet die Grundlage einer entsprechenden psychischen Gliederung der von ihm vermittelten Raumvorstellung in einzelne Elemente; mit den Grenzen der anatomischen Zerklüftung sind die letzten möglichen Grenzen der räumlichen Sonderung fest gegeben. Jeder anatomische Empfindungskreis repräsentirt ein physiologisches Element für den Raumsinn; jedem derselben entspricht je eines der kleinsten, nicht weiter theilbaren Raumvorstellungselemente, welche in ihrer Gesammtheit, wiederum nach Art einer Mosaik, das Raumvorstellungsbild unserer Tastoberfläche zusammensetzen. Mit anderen Worten: Alle Druck- und Temperaturempfindungen, welche durch irgend welche Reizung der Haut innerhalb des Rayons eines Empfindungskreises, also durch Reizung einer bestimmten Nervenfaser erzeugt werden, verknüpfen sich im Sensorium mit einer ganz bestimmten Ortsvorstellung von bestimmtem — wie wir es einstweilen kurz ausdrücken wollen — Raumwerth, welcher genau derselbe ist, mag der Reiz in der Mitte oder irgend wie am Rande den Empfindungskreis treffen, mag er seinen ganzen Umfang oder nur einen Theil desselben einnehmen, mag er einfach oder in eine beliebige Anzahl getrennter, verschiedene einzelne Punkte des Kreises treffender Einzelreize gespalten sein. Die Ortsvorstellung, welche zu jedem einzelnen Empfindungskreis gehört, ist verschieden von derjenigen, die zu jedem beliebigen anderen Empfindungskreis gehört. Wir stellen dieses Verhältniss zwischen Ortsvorstellungen und

den anatomischen Elementen der Hautmosaik einstweilen als sichere Thatsache hin und verschieben auf spätere Erörterungen die schwierige Frage, wie die Verknüpfung einer bestimmten Ortsvorstellung mit den von einem bestimmten Empfindungskreis aus erweckten Tastempfindungen zu Stande kommt und welche Momente die Verschiedenheiten der Raumwerthe die zu verschiedenen Empfindungskreisen gehören, bedingen. In letzterer Beziehung bemerken wir nur, dass die Gesammtheit der verschiedenen elementaren Ortsvorstellungen ein regelmässig abgestuftes System bilden muss, dass die Differenzen ihrer Raumwerthe insofern in einer ganz bestimmten Relation zu den räumlichen Verhältnissen der Hautmosaik stehen müssen, als die Differenz der ersteren in quantitativer Beziehung um so beträchtlicher sein muss, je weiter von einander entfernt die Felder der Hautmosaik, zu denen sie gehören, die Ortsvorstellung eines Empfindungskreises die grösste Aehnlichkeit mit derjenigen eines unmittelbar angrenzenden Nachbars zeigen, in einem mit der Distanz proportional wachsenden Grade aber sich von den Ortsvorstellungen der in einer bestimmten Richtung weiter und weiter entfernten Empfindungskreise unterscheiden muss, als ferner auch in qualitativer Beziehung die Differenzen anderer Art sein müssen zwischen den Ortsvorstellungen zweier Empfindungskreise von bestimmter Distanz je nachdem die Verbindungslinie derselben in der Queroder Längsrichtung des Körpers liegt. Nur so lässt sich die weitgehende Congruenz der vorgestellten Orte der Empfindung mit den wirklichen Reizorten erklären.

Unter diesen Voraussetzungen nun lassen sich nach WEBER's Theorie die thatsächlichen Verhältnisse des Ortssinnes der Haut vollständig und zwanglos in folgender Weise deuten. Selbstverständlich werden je zwei oder mehrere gleichzeitige Eindrücke, welche innerhalb eines und desselben Kreises auftreffen zu einem einfachen verschmolzen, welchen die Seele in das jenem Kreise entsprechende Feldchen der Vorstellungsmosaik der Hautfläche einträgt. Treffen zwei gleichzeitige Eindrücke verschiedene Empfindungskreise, so werden allerdings jedesmal zwei gesonderte Erregungen dem Hirn zufliessen und daselbst auch ihre verschiedenen Ortsmarken aufgeprägt erhalten, eine Unterscheidung und räumliche Auseinanderhaltung der beiden Eindrücke wird aber nur dann eintreten, wenn die Seele die Differenz der begleitenden Raumwerthe zu erkennen vermag, also entweder die Differenz eine hinreichend grosse ist, um sich der Wahrnehmung aufzudrängen, oder das Auffassungsvermögen der Seele auch für geringe Differenzen durch Uebung hinreichend verfeinert ist. Treffen

zwei Eindrücke zwei benachbarte Empfindungskreise, so wird vielleicht nirgends oder höchstens an der Fingerspitze des Blinden, bei welchem durch Uebung das Auffassungsvermögen für die Differenzen der Raumwerthe bis zur äussersten Grenze verschärft ist, eine Doppelempfindung ins Bewusstsein treten. An den meisten Hautstellen und bei gewöhnlichem Ausbildungsgrad des Auffassungsvermögens dagegen wird eine Spaltung in eine Doppelempfindung erst eintreten, wenn die getroffenen Empfindungskreise, durch eine kleinere oder grössere Anzahl nicht berührter von einander getrennt, soweit auseinanderliegen, dass die Differenz der zugehörigen Raumwerthe eine mehr weniger hoch über dem Minimum gelegene Grösse erreicht, welche dann den Schwellenwerth für das Auffassungsvermögen darstellt. Mit der an dieser Schwelle eintretenden Duplicität der Empfindung ist aber zunächst noch nicht die Sonderung in zwei getrennte Eindrücke, die Wahrnehmung einer Lücke zwischen ihnen gegeben. Die eben eintretende Merklichkeit der Differenz der den Sondereindrücken anhaftenden Raumwerthe wird die Seele zunächst nur veranlassen, die betreffenden Eindrücke nebeneinanderzusetzen, zwei unmittelbar aneinanderstossende Felder der Vorstellungsmosaik mit ihnen auszufüllen, mithin eine Verbreiterung (oder Verlängerung) des einfachen Eindrucks wahrzunehmen. Damit eine Auflösung in zwei getrennte Eindrücke, die Wahrnehmung einer Lücke, einer Distanz zwischen ihnen eintrete, müssen die Reizorte noch weiter auseinanderrücken, noch eine grössere Anzahl nicht berührter Empfindungskreise zwischen die berührten eingeschaltet werden. Weber selbst hat diese Bedingung der Distanzwahrnehmung folgendermaassen formulirt: „damit zwei gleichzeitig auf die Haut gemachte Eindrücke örtlich als zwei in einem gewissen Abstand von einander liegende Eindrücke unterschieden werden können, scheint erforderlich zu sein, dass die Eindrücke nicht nur auf zwei verschiedene Empfindungskreise gemacht werden, sondern auch, dass zwischen diesen noch *ein* Empfindungskreis, *oder mehrere* Empfindungskreise liegen, auf welche kein Eindruck gemacht wird.“ Wir möchten die Bedingung genauer präcisirt durch den Satz ausdrücken, dass die Zahl der zwischen den berührten liegenden freien Empfindungskreise in jedem Fall so gross werden muss, dass nicht allein die Differenz der Raumwerthe der berührten Kreise die zur Erkennung nothwendige Grösse erreicht, sondern dass auch zwischen denselben *auffassbare*, den Zwischenkreisen zugehörige Zwischenstufen der Raumwerthe liegen, welche, der Seele als Glieder der successiv abgestuften Reihe bekannt, von ihr *vermisst* werden können und so das Motiv

zur Leerlassung eines oder mehrerer Vorstellungsfelder zwischen den ausgefüllten bilden. Nur in den seltenen Fällen, wo die Seele gelernt hat, die minimale Differenz der Raumwerthe zweier aneinandergrenzender Empfindungskreise aufzufassen, kann ein freier Kreis zur Wahrnehmung einer Lücke genügen, in allen anderen Fällen, unter gewöhnlichen Verhältnissen auf der ganzen Hautoberfläche, sind dazu mehrere erforderlich, an manchen Stellen, wie der durch Lage und Unbeweglichkeit von jeder activen Uebung ausgeschlossenen Rückenhaut, eine sehr grosse Anzahl. Wie einfach erklärt diese Anschauung die Verfeinerung des Ortssinnes durch Uebung! Es ist dieselbe ein Analogon der in allen Sinnesgebieten bewährten Verfeinerung des Auffassungsvermögens für Qualitätsdifferenzen z. B. Farbennüancen, Tonhöhen, durch Uebung. Wie bei dem Musiker sich das Unterscheidungsvermögen von Tonhöhen bis zu einer ebenfalls durch anatomische Verhältnisse abgesteckten Grenze, d. h. bis zu derjenigen Höhendifferenz, welche dem Stimmungsunterschied zweier benachbarter Corti'scher Zähne entspricht, verschärfen kann, so kann hier das Auffassungsvermögen bis zu dem durch die anatomische Abgrenzung der Empfindungskreise gegebenen Extrem, d. i. bis zum Erkennen des Raumwerthsunterschiedes zweier benachbarter Kreise verfeinert werden. Daraus erklärt sich nicht allein die Verfeinerung des Ortssinnes an einer bestimmten Hautprovinz durch Uebung, wie sie aus Volkmann's Versuchen sich ergiebt, sondern auch die grössere Feinheit an allen Theilen, welche durch Lage und Beweglichkeit zu activen Tastoperationen am geeignetsten sind und zu solchen am häufigsten gebraucht werden; daraus erklärt sich auch die in Vierordt's Gesetz ausgedrückte Zunahme der Feinheit der verschiedenen Hautpunkte eines Gliedes mit dem Abstand von der Drehungsachse, d. i. mit dem Umfang der Excursionen, welche ein Punkt bei den Bewegungen des Gliedes ausführt, denn, je beweglicher ein Theil, desto mehr ist ihm Gelegenheit zur Berührung mit Aussendingen (oder anderen Theilen des Tastorgans), und somit der Seele Veranlassung gegeben, ihre Aufmerksamkeit den von ihm ausgehenden Ortsvorstellungen und deren successiven Veränderungen bei der Wanderung der Eindrücke auf der bewegten Fläche zuzuwenden.

Aus vorstehender Erörterung ergiebt sich die wichtige Folgerung, dass die kleinste wahrnehmbare Distanz durchaus nicht ein directes Maass für den Durchmesser der Empfindungskreise ist. Allerdings kann man auch das durch die kleinste wahrnehmbare Distanz umschriebene Hautgebiet als eine elementare Grösse, als eine physiologische Einheit für den Raumsinn auffassen

und mit dem an sich sehr unbestimmten Ausdruck eines Empfindungskreises bezeichnen. Dann muss man aber diesen Begriff eines physiologischen Empfindungskreises streng von demjenigen eines anatomischen Empfindungskreises, wie ihn WEBER definirt hat, auseinanderhalten und darf beide nicht schlechthin identificiren. Beide stellen nur in dem seltenen Fall identische Grössen dar, wo thatsächlich ein freier anatomischer Empfindungskreis zwischen zwei berührten zur Wahrnehmung einer Lücke genügt, in der Regel umfasst ein physiologischer Empfindungskreis mehrere, oft sehr viele anatomische, und es ist daher durchaus unstatthaft aus dem beträchtlichen Durchmesser des physiologischen Empfindungskreises an Gegenden stumpfen Ortssinnes ohne Weiteres auf einen entsprechenden Umfang des anatomischen Empfindungskreises zu schliessen, am Rücken etwa dem Versorgungsgebiet einer Nervenfaser einen Durchmesser von 30‴ zu vindiciren. Wäre letzteres der Fall, so würden wir wahrscheinlich am Rücken die Berührung mit einer Zirkelspitze nicht als einen punktförmigen Eindruck empfinden, sondern als den Eindruck einer kleinen Scheibe, d. h. wir würden ein dem Durchmesser des Kreises entsprechend grosses Feldchen der Vorstellungsmosaik damit ausfüllen, was nicht der Fall ist. Die Differenzen der Feinheit des Ortssinnes, wie sie sich empirisch aus den kleinsten wahrnehmbaren Distanzen der Zirkelspitzen ergeben, beruhen nur zum geringsten Theil auf Differenzen der Grösse, mehr weniger ausschliesslich auf Differenzen der Zahl der anatomischen Empfindungskreise, welche in je einem physiologischen aufgehen. Diese Zahl wird durch psychische Verhältnisse, durch die wandelbare Schärfe des Auffassungsvermögens der Seele in der erörterten Weise bestimmt; Verschiedenheiten dieses Vermögens aber können theils durch verschiedene Grade der Uebung, theils auch durch verschiedene Feinheit der Abstufung der Raumwerthe von Empfindungskreis zu Empfindungskreis bedingt sein. Die physiologischen Empfindungskreise sind demnach variable z. B. durch Uebung veränderliche Grössen, die anatomischen dagegen absolut unveränderliche, physisch gegebene Grössen. Auf einer Verwechselung oder fälschlichen Identificirung beider Begriffe beruhen die meisten Angriffe, welche gegen WEBER's Lehre geführt worden sind, und WEBER selbst hat denselben gewissermaassen Vorschub geleistet, indem er selbst beide nicht immer streng genug auseinander gehalten hat. Er selbst[1], obwohl er sich ausdrücklich dagegen verwahrt,

1 Vergl. bes. WEBER's eigene Vertheidigung seiner Lehre in dem Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. 1852. S. 85.

dass er das Einfachfühlen zweier Eindrücke als sicheres Kriterium der Versorgung der beiden getroffenen Punkte durch dieselbe Nervenfaser betrachte, obwohl er ausdrücklich ausspricht, dass zur Wahrnehmung einer Distanz wahrscheinlich mehrere freie Empfindungskreise erforderlich seien, betrachtet doch immer die kleinste wahrnehmbare Distanz als ein Maass wenigstens der relativen Grösse der anatomischen Empfindungskreise und sucht damit den der Feinheit des Ortssinnes entsprechenden Grad des Nervenreichthums verschiedener Hautprovinzen in Einklang zu bringen. Er schliesst ferner aus der Thatsache, dass an den Armen die Minimaldistanz in der Querrichtung kleiner als in der Längsrichtung gefunden wird, auf eine längliche Gestalt der Empfindungskreise, obwohl die Thatsache ebensogut darauf beruhen kann, dass vielleicht in Folge langsamerer Zunahme der Raumwerthe der einzelnen Reize in der Längsrichtung als in der Querrichtung in ersterer eine grössere Anzahl freier Zwischenkreise zur Wahrnehmung einer Lücke erforderlich ist, als in letzterer.

Die weiteren Consequenzen, welche Weber aus seiner klaren Lehre von den Empfindungskreisen über die Wahrnehmung von Grössen und Formen mittelst des Ortssinnes der Haut ableitet, sind folgende: Zur Beurtheilung der Grösse einer Distanz zweier Eindrücke, welche über der Raumschwelle liegt, gelangt die Seele durch eine ungefähre Schätzung der Zahl freier Empfindungskreise, welche zwischen den berührten liegen; während daher in einer bestimmten Hautprovinz die vorgestellte Grösse der Zunahme der reellen Distanz der Eindrücke proportional wächst, ist für eine bestimmte Distanz in verschiedenen Hautprovinzen der Maassstab ein verschiedener, entsprechend der verschiedenen Grösse der Einheiten, d. i. der Durchmesser der einzelnen Empfindungskreise. Diese Einheiten sind auch hier meines Erachtens nicht die anatomischen, sondern die physiologischen Empfindungskreise, d. i. die kleinsten wahrnehmbaren Distanzeinheiten, durch deren Aneinanderreihung die zu messende Distanz entstanden gedacht werden kann. Viele bestreiten dieses Princip der Distanzenmessung, bestreiten, dass dabei die freien Empfindungskreise überhaupt berücksichtigt oder gar gezählt werden und nehmen an, dass die Beurtheilung der Grösse einer Distanz lediglich auf der Beurtheilung der Verschiedenheit der Raumwerthe, welche den berührten Kreisen zugehören, demnach der Verschiedenheit der Orte, welche den Eindrücken angewiesen werden beruhe. Ich halte jedoch die Weber'sche Auffassung, nicht blos weil sie eine nothwendige Consequenz seiner Erklärung des

Zustandekommens einer Lückenwahrnehmung überhaupt ist, für die richtigere und zwar, weil uns aus ihr sich die thatsächlichen enormen Differenzen der Grössenbeurtheilung einer gegebenen Distanz an verschiedenen Hautstellen, welche Differenzen den Differenzen der extensiven Unterschiedsempfindlichkeit genau proportional sind, ungezwungen erklären, während sie zu den Forderungen der gegenübergestellten Anschauung in schroffem Widerspruch stehen. Dies wird sich klarer aus der Betrachtung eines speciellen Falles ergeben. Setzen wir die Zirkelspitzen 3/4 Zoll von einander entfernt vor dem Ohr auf und bewegen sie bei ungeänderter Distanz quer über das Gesicht, so spaltet sich, wie oben beschrieben, der anfangs einfache Eindruck in zwei Sondereindrücke, welche weiter und weiter auseinander zu weichen scheinen. Die Erklärung nach WEBER's Princip lautet: weil sich auf diesem Wege mehr und mehr der kleiner und kleiner werdenden physiologischen Empfindungskreise zwischen die berührten Punkte einschalten und diese wachsende Zahl der vermissten Zwischenglieder der Aufmerksamkeit der Seele sich aufdrängt und das Urtheil bestimmt. Die gegenüberstehende Auffassung müsste behaupten, dass auf den verschiedenen Stellen des Weges die Orte, in welche nach den Raumwerthen der berührten Empfindungskreise die Eindrücke eingetragen werden, in dem Maasse, als die scheinbare Distanz wächst, weiter und weiter auseinanderrücken. Das ist aber an sich widersinnig, weil bei einem so groben Missverhältniss zwischen der vorgestellten und wirklichen Lage der Reizorte überhaupt unbegreiflich wäre, wie die Seele jemals zu einem unverzerrten Vorstellungsbild der Tastfläche gelangen könnte. Es ist aber auch thatsächlich nicht begründet; denn wenn wir an den verschiedenen Stellen des Weges die Zirkelspitzen einzeln nacheinander auf die betreffenden Punkte aufsetzen, so verbinden sich die Einzeleindrücke mit Ortsvorstellungen, welche durchaus nicht so verschieden distant erscheinen, wie bei gleichzeitiger Berührung; ja wir nehmen dann selbst am Ohr eine Verschiedenheit des Ortes der einzelnen Berührungen wahr. Das scheinbare Auseinanderweichen der Zirkelspitzen in dem beschriebenen Versuch ist daher eine Urtheilstäuschung, welche dadurch zu Stande kommt, dass die richtige Localisirung der Sondereindrücke nach den Raumwerthen der berührten Kreise durch die einseitige Aufmerksamkeit auf die Zahl der vermissten Zwischenstufen Lügen gestraft wird.

Wie die Schätzung der Distanzen, so beruht nach WEBER auch die Beurtheilung der Länge einer Reihe continuirlich an einander grenzender Eindrücke, also z. B. der Länge eines der Haut ange-

drückten Stäbchens auf einer ungefähren Taxation der Summe der berührten Empfindungskreise. Ebenso einfach erklärt sich ferner aus WEBER's Lehre die Wahrnehmung der Form eines berührten Abschnittes der Tastfläche und mittelbar des berührenden äusseren Objects. Die Seele ordnet die Einzeleindrücke, welche von den verschiedenen gleichzeitig berührten Empfindungskreisen herrühren, nach ihren Raumwerthen in die entsprechenden Felder der Vorstellungsmosaik ein, wie der Mosaikarbeiter durch entsprechende räumliche Anordnung seiner Steinchen die räumlichen Verhältnisse der Einzeltheile, in welche er sich je nach der Grösse seiner Elemente eine zu copirende Figur zerlegt, wiedergiebt, oder die Stickerin eine solche durch Ausfüllung der entsprechend gelagerten Maschen des Stramins reconstruirt. Dabei ist selbstverständlich der Seele wie dem Mosaikarbeiter für die erkennbare Darstellung von Formen und die Wiedergabe räumlicher Details mit der gegebenen endlichen Grösse der Elemente, aus denen die Raumbilder zusammenzusetzen sind, eine bestimmte Grenze gesetzt. Wie der Mosaikarbeiter mit einem Steinchen keinen Kreis herstellen kann, aber auch nicht mit zwei, drei oder vier Steinchen, in einem Raum, der nur für vier solche Steinchen Platz hat, daher überhaupt die Form eines Kreises nicht wiederzugeben vermag, so geht es auch der Seele bei ihrem musivischen Verfahren. Handelt es sich z. B. darum, den kreisförmigen Querschnitt einer cylindrischen Röhre durch den Ortssinn der Haut als solchen zu erkennen und von dem dreieckigen Querschnitt einer prismatischen Röhre zu unterscheiden, so wird dies absolut unmöglich sein, wenn der Durchmesser der Röhre kleiner ist, als derjenige eines Empfindungskreises der Hautstelle, auf welche der Querschnitt zur Lösung der Aufgabe aufgesetzt wird. Es kann dann nur ein einfacher Eindruck, an welchem jede feinere räumliche Unterscheidung unmöglich ist, entstehen. Es genügt aber auch dazu noch nicht ein Röhrendurchmesser, welcher dem doppelten Durchmesser eines Empfindungskreises gleich kommt. Die Erkennung der Form wird erst dann möglich, wenn der Querschnitt der Röhre so gross, oder der Durchmesser der Empfindungskreise so klein ist, dass der Rand der Röhre eine in erkennbarer Kreisform gelegene Reihe von Empfindungskreisen deckt und diese mindestens einen freien, dem Lumen der Röhre entsprechenden Empfindungskreis einschliesst. Daher wird der Querschnitt der Röhre um so beträchtlicher sein müssen, je stumpfer der Ortssinn der prüfenden Hautstelle. In der That fand WEBER, bei direct in diesem Sinne angestellten Versuchen, dass, während die Zungenspitze die Kreisform bereits bei einem Durch-

messer der Röhre von 1,5''' deutlich erkannte, an der Bauchhaut dazu ein Durchmesser von 3¾ Zoll erforderlich war.

Zur Erkennung von Formen mittelst des Ortssinnes der Haut ist es nicht erforderlich, dass die entsprechende Reihe von Eindrücken gleichzeitig auf die Haut wirkt. Wir erkennen solche, z. B. die Figur eines Buchstaben, auch, wenn dieselben auf der Haut beschrieben, d. h. successiv nach einander die in der Richtung der Figur aneinander grenzenden Empfindungskreise berührt werden, die Seele also den im Moment der Berührung erhaltenen reellen Eindruck an einen vorhergegangenen, in der Erinnerung festgehaltenen anreiht. Auch hier ist natürlich Bedingung, dass wir den Buchstaben so gross auf die Haut schreiben, dass die Reihe der getroffenen Mosaikfelderchen die Form des Buchstaben kenntlich darstellt. Dabei machte WEBER eine höchst auffallende Beobachtung, welche zeigt, dass in gewissem Sinne eine Accomodation der durch die Haut vermittelten räumlichen Wahrnehmungen an die weit vollkommneren und durch die Häufigkeit ihrer Wiederkehr weit vertrauteren räumlichen Wahrnehmungen, welche uns der Gesichtssinn über die gleichen Objecte verschafft, stattfindet. Damit ein Buchstabe durch den Ortssinn leicht erkennbar ist, muss er in solcher Lage auf der Haut beschrieben werden, wie wir ihn wirklich auf die betreffende Stelle schreiben müssen, wenn er von dem Auge der Versuchsperson gelesen, demselben in der gewöhnlichen richtigen Lage erscheinen soll. Ein L muss demnach auf der Stirn aufrecht aber verkehrt, d. h. mit der Winkelöffnung nach links gerichtet, als ob es von den Augen durch die durchsichtige Stirnhaut gelesen werden sollte, auf der Bauchhaut, umgekehrt d. h. auf dem Kopf stehend, aber mit rechts gerichteter Apertur, auf dem Kreuz endlich zugleich verkehrt und umgekehrt geschrieben werden.

Eine Frage von hohem Interesse ist die, ob das für die Intensitäts-Unterschiedsempfindlichkeit im Gebiete des Drucksinnes von WEBER aus seinen Beobachtungen abgeleitete „WEBER'sche Gesetz“ welches wir oben weitläufig erörtert haben, sich auch für die extensiven Wahrnehmungen des Ortssinnes der Haut bestätigt, mit anderen Worten, ob, um mittelst desselben zwei Linien d. h. zwei Reihen continuirlicher gleichzeitiger Tasteindrücke eben als verschieden lang zu erkennen, der wirkliche Längenunterschied der beiden Linien bei allen absoluten Längen derselben die gleiche relative Grösse darstellen muss. Auf einen concreten Fall angewendet und in die Sprache der WEBER'schen Lehre von den Empfindungskreisen übersetzt, lautet die Frage folgendermaassen: Haben wir der Haut an einer Stelle, an welcher der Durchmesser der Empfindungskreise 1''' beträgt, ein Stäbchen von 10''' Länge aufgelegt und gefunden, dass wir dasselbe gerade um 1''' verlängern müssen, um einen ebenmerklichen Längenunterschied wahrzunehmen, müssen wir ein Stäbchen von 100''' Länge um 10''' d. i. um dieselbe relative Grösse

verlängern, damit wiederum die Längenzunahme ebenmerklich wird? Entspricht demnach die **extensive Unterschiedsschwelle** wie die intensive stets demselben relativen Reizzuwachs, hier also **demselben relativen Zuwachs der Zahl der getroffenen Empfindungskreise?** Auf Grund der oben von uns vertretenen Auffassung des Weber'schen Gesetzes ist diese Analogie von vornherein im höchsten Grade wahrscheinlich, wie wir bereits S. 348 auseinandergesetzt haben. Der sichere experimentelle Nachweis der Gültigkeit des Gesetzes für den Ortssinn der Haut stösst jedoch auf grosse Schwierigkeiten, deren wesentlichste darin besteht, dass der Umfang der Hautstellen, in denen die Einheiten d. h. die Empfindungskreise die gleiche Grösse haben, ein zu geringer ist, um die absoluten Längen der zu vergleichenden Berührungslinien hinreichend variiren zu können. Greift aber, um zu unserem Beispiel zurückzukehren, die Linie von 100''' Länge in Hautgebiete über, in denen der Durchmesser der Empfindungskreise zweimal oder dreimal grösser wird, als in dem von der Linie von 10''' eingenommenen Gebiet, so muss sich selbstverständlich auch der extensive Unterschiedsschwellenwerth ändern.

Daraus erklärt sich, dass die Ergebnisse der directen Bestimmungen wie Fechner [1] gezeigt hat, mit den Forderungen des Gesetzes nicht völlig im Einklang stehen. Wir dürfen somit von einer wiederholten Discussion der Bedeutung und Erklärung des Gesetzes in Bezug auf den Ortssinn der Haut absehen und auf die Darstellung der Lehre vom Augenmaass, bei welchem eine genauere Prüfung seiner Gültigkeit für extensive Wahrnehmungen möglich ist, verweisen.

Obgleich eine Widerlegung der gegen Weber's Lehre erhobenen Einwände im Wesentlichen bereits in der vorstehenden Erörterung derselben enthalten ist, müssen wir doch einzelnen Angriffen und Versuchen, sie durch andere Hypothesen zu ersetzen, eine kurze Specialkritik widmen. Zu den Angriffen, welche heutzutage keiner besonderen Widerlegung mehr bedürfen, gehören diejenigen, welche auf einem groben Missverständniss, auf einem Uebersehen der von Weber für das Entstehen von Doppelempfindungen aufgestellten Bedingung freier Empfindungskreise zwischen den berührten beruhen. Dahin gehört der Versuch Kölliker's [2], Weber's Lehre dadurch ad absurdum zu führen, dass er aus ihr die Versorgung der gesammten Hautoberfläche mit einer einzigen Nervenfaser ableiten zu können meinte. Auch Lotze's [3] Polemik, in ihrer ursprünglichen Fassung mindestens, liegt dieser Fehler zu Grunde, indem er folgendermaassen raisonnirt: Stellen wir uns drei aneinandergrenzende Empfin-

1 Fechner, Psychophys. I. S. 235.
2 Kölliker, Arch. f. microscop. Anat. II. 1. Abth. S. 43.
3 Lotze, Medicin. Psycholog. S. 402.

dungskreise unter der Formel $(a + b + c)$ $(d + e + f)$ $(g + h + i)$, worin die einzelnen Buchstaben die nebeneinander liegenden Punkte der durch Klammern abgegrenzten Kreise darstellen, vor, so müsste nach Weber die gleichzeitige Berührung von a und c, die vielleicht einen Zoll auseinander liegen, einen einfachen Eindruck erzeugen, weil sie demselben Kreis angehören, die Berührung von c und d aber, welche unmittelbar aneinander grenzen, einen doppelten, weil sie verschiedenen Kreisen angehören, was nicht der Fall ist. Die Widerlegung liegt auf der Hand; nach Weber entsteht im günstigsten Fall bei Berührung von c und g, ein doppelter Eindruck.

Hieran reiht sich ein anderer, ebenfalls besonders von Lotze erhobener Einwand, bei welchem zwar das Dazwischenliegen freier Empfindungskreise als Bedingung der Sonderung von Eindrücken anerkannt, aber nicht berücksichtigt ist, dass diese freien Felder in der Regel in der Mehrzahl, an vielen Stellen in der Vielzahl vorhanden sein müssen. Dieser Einwand lautet folgendermaassen: Die Berührung von c und g in obigem Schema erzeugt nach Weber einen doppelten, die Berührung von b und f dagegen, welche ebensoweit distant sind, oder sogar von a und f, welche weiter von einander abstehen als c und g, nur einen einfachen Eindruck, weil sie benachbarten Kreisen angehören. Eine und dieselbe Distanz würde also je nach dem Auftreffen der Zirkelspitze einmal einen doppelten, ein anderes Mal einen einfachen Eindruck erzeugen, die kleinste wahrnehmbare Distanz demnach eine zwischen $c\,g$ und $a\,g$ schwankende Grösse darstellen, während sie nach Lotze thatsächlich constant ist. Auch dieser Einwand ist durchaus hinfällig. Erstens wird die Schwankung der kleinsten wahrnehmbaren Distanz, welche sich allerdings aus Weber's Theorie als nothwendig ergiebt, kleiner und kleiner, wenn statt einem zwei oder mehrere freie Kreise zur Sonderung der Eindrücke erforderlich sind, wie es factisch immer mit Ausnahme der oben bezeichneten extremen Fälle der Fall ist, und wird sehr bald so klein sein, dass sie der Beobachtung beim Versuch sich entzieht. Zweitens ist die von Lotze behauptete Constanz der Raumschwelle thatsächlich nicht begründet. Der häufige Wechsel „falscher und richtiger Fälle", welcher bei einer grösseren Anzahl hintereinander an derselben Hautstelle ausgeführter Bestimmungen an der Grenze der Wahrnehmbarkeit der Duplicität sich zeigt, beruht zum Theil wohl auf Unsicherheiten der Auffassung, zum Theil aber gewiss auch auf dem Wechsel der Lage der Eindrücke in dem oben bezeichneten Sinn.

Lotze hat ferner als unverträglich mit Weber's Theorie die Thatsache bezeichnet, dass an Stellen stumpfen Ortssinns, an welchen z. B. zwei gleichzeitige Eindrücke einen Zoll von einander entfernt sein müssen, um gesondert zu werden, doch innerhalb eines Rayons von einem Zoll Durchmesser erstens die Lagenveränderung eines einfachen Eindrucks, die Verschiebung einer Zirkelspitze, wahrgenommen werde, zweitens zwei nacheinander auf verschiedene Punkte des Rayons treffende Eindrücke räumlich gesondert werden, wie besonders von Czermak[1] her-

1 Czermak, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. XVII. S. 563; Molesch. Unters. I. S. 188.

vorgehoben worden ist. Beide Thatsachen sind sehr wohl mit Weber's Lehre in Einklang zu bringen, sobald man von der Anschauung ausgeht, dass jener Rayon von 1 Zoll Durchmesser nicht ein anatomischer, sondern ein physiologischer Empfindungskreis ist, welcher eine grössere Anzahl anatomischer Mosaikelemente mit gesonderten Nervenfasern und differenten Raumwerthen einschliesst. Sind nun auch diese Raumwerthe innerhalb dieses Bezirks so wenig different oder die Seele in ihrer Auffassung so wenig geübt, dass ihre Verschiedenheiten nicht aufgefasst werden, wenn zwei derselben gleichzeitig vor das Bewusstsein treten, so kann doch eine solche Unterscheidung möglich werden, wenn sie nacheinander, jeder für sich die ungetheilte Aufmerksamkeit geniessend, einwirken, ganz aus demselben Grunde als auch Intensitäts- und Qualitätsdifferenzen von Empfindungen, wie oben beim Drucksinn nachgewiesen wurde, weit feiner unterschieden werden, wenn sie nacheinander als wenn sie gleichzeitig dem Bewusstsein sich präsentiren. Uebrigens ist, wie ich mich überzeugt habe, innerhalb eines solchen physiologischen Empfindungskreises die Wahrnehmung der Richtung, in welcher ein Eindruck hin und her verschoben wird, eine sehr unvollkommene und unsichere, und beruht bei kleineren Verschiebungen die Vorstellung der Bewegung wohl mehr auf der Wahrnehmung kleiner Intensitätsdifferenzen der successiven Eindrücke als auf einer Auffassung der Veränderung ihrer Raumwerthe.

Man hat ferner eingewendet, dass an den Gegenden stumpfsten Ortssinnes, wie der Rückenhaut, doch jeder punktförmige Eindruck in einer entsprechend minimalen Ausdehnung localisirt, nicht als Berührung des ganzen umfangreichen (physiologischen) Empfindungskreises empfunden werde. Die Erklärung dieser Thatsache in Weber's Sinn lautet, wie bereits oben besprochen wurde: weil an solchen Stellen der physiologische Empfindungskreis aus sehr zahlreichen anatomischen Kreisen zusammengesetzt ist, die Localisirung des punktförmigen Eindrucks aber lediglich auf Grund des Raumwerths, welcher dem berührten anatomischen Element zugehört, geschieht.

Die Unterscheidung physiologischer und anatomischer Empfindungskreise beseitigt auch ohne Weiteres den anfangs häufig erhobenen anatomischen Einwand, dass die Differenzen des Nervenreichthums verschiedener Hautprovinzen bei weitem nicht den Differenzen der Durchmesser ihrer Empfindungskreise proportional seien, die Rückenhaut z. B. nicht dreissigmal weniger Nervenfasern für einen bestimmten Bezirk erhalte, als die Haut der Fingerspitzen. Die Thatsache ist richtig, aber ihre Beweiskraft gegen Weber nichtig. Stellte sich z. B. heraus, dass die Versorgung der Rückenhaut mit einzelnen Nervenfasern etwa nur dreimal spärlicher als die der Fingerhaut sei, so würde dies beweisen, dass der Durchmesser der anatomischen Empfindungskreise an ersterer allerdings nur etwa dreimal grösser als an letzterer; dass dabei die kleinste wahrnehmbare Distanz, d. i. der Durchmesser des physiologischen Empfindungskreises an ersterer aber nicht drei-, sondern dreissigmal grösser als an letzterer sich ergiebt, wäre daraus zu erklären, dass die Zahl der zur Auffassung einer Lücke erforderlichen freien Kreise zwischen den berührten am Rücken zehnmal grösser ist, als an der Fingerspitze.

Wenn sich somit alle speciellen Einwände gegen Weber's Theorie so leicht entkräften lassen, so ist mir immer die vielseitige hartnäckige Opposition gegen dieselbe um so weniger verständlich gewesen, als diese Opposition sich fast ausschliesslich gegen ihre Anwendung auf den Raumsinn der Haut, nicht aber auf den Raumsinn der Netzhaut gewendet hat. Allerdings ist diese Einseitigkeit leicht erklärlich. Hätten wir in der Haut einen so evidenten Ausdruck der von der Theorie geforderten musiven Zerklüftung in den sichtbaren Structurverhältnissen, wie in der Stäbchen- und Zapfenschicht der Retina, liesse sich bei der Haut mit solcher Schärfe durch Messung die Uebereinstimmung der kleinstmöglichen, räumlich zu sondernden Wahrnehmungselemente mit den Durchmessern der Elemente der anatomischen Mosaik ad oculos demonstriren, wie am gelben Fleck der Netzhaut, so würden viele Bedenken, die man im Gebiete des Ortssinnes der Haut künstlich grossgezogen hat, gar nicht aufgekommen und mancher gekünstelte, schon in seinen Grundlagen haltlose Versuch, Weber's auf unanfechtbarem Vordersatz ruhender anatomischer Hypothese eine andere zu substituiren, unterblieben sein. Dass aber der Raumsinn des Auges auf einer wesentlich anderen Grundlage beruhe, als derjenige der Haut, wird Niemand im Ernst vertreten wollen. Von einer eingehenden Kritik der Gegenhypothesen dürfen wir absehen, einmal, weil wir einzelne derselben erst bei den folgenden Auseinandersetzungen berühren können, zweitens, weil wir alle diejenigen heutzutage überhaupt nicht mehr für discussionswerth halten, welche auf der Annahme beruhen, oder stillschweigend die Möglichkeit involviren, dass eine und dieselbe Nervenfaser gleichzeitig mehrere, räumlich sonderbare Eindrücke vermitteln kann. An diesem Cardinalfehler kranken z. B. die Hypothesen von Meissner [1] wie von Czermak. Beide nehmen als sensible Elemente der Haut mehr weniger dicht gedrängt stehende „sensible Punkte" an, von denen jeder einem Nervenende seine Empfindlichkeit verdankt. Aus Aggregaten solcher Punkte, ohne dass dabei in Betracht kommt, ob ihre Nervenenden denselben oder verschiedenen Nervenfasern angehören, lässt Meissner die den Weber'schen Empfindungskreisen äquivalenten elementaren Hautbezirke bestehen, und zwar soll das Maassgebende für die Abgrenzung der letzteren eine bestimmte Zahl von sensibeln Punkten sein, so dass jene Bezirke um so kleiner, der Ortssinn um so feiner ist, je dichter gedrängt die sensibeln Punkte aneinander liegen. Abgesehn davon, dass gegen diese Hypothese weit berechtigter als gegen die Weber'sche der oben besprochene anatomische Einwand mutatis mutandis erhoben werden kann — dass nämlich an der Rückenhaut die Nervenenden nicht dreissigmal weiter auseinander liegen als an der Fingerspitze — steht ihr Hauptprincip vollkommen haltlos und unbegründet da. Wie eine bestimmte Zahl erregter Nervenenden das Moment zur Bildung einer bestimmten Ortsvorstellung, welche für jeden verschiedenen Hautbezirk eine verschiedene ist, abgeben soll, ist mir absolut unausdenkbar. Czermak schreibt sogar jedem einzelnen sensibeln Punkt, also jedem einzelnen Nervenende, die Fähigkeit zu, der von ihm aus erregten Empfindung einen bestimmten Raumwerth (Localzeichen, s. unten) zu ertheilen, also

1 Meissner, Beitr. z. Anat. u. Physiol. d. Haut. S. 44. Leipzig 1853.

ein Element der Vorstellungsmosaik zu repräsentiren, was jedoch praktisch nicht in Betracht komme, da jeder, auch der beschränkteste Reiz, immer gleichzeitig eine Anzahl sensibler Punkte errege, einen „physikalischen Zerstreuungskreis bilde, und die Unterschiede der Raumwerthe benachbarter Punkte viel zu gering seien, um aufgefasst zu werden. Als Empfindungskreis bezeichnet CZERMAK denjenigen Hautbezirk, innerhalb dessen wegen dieser Unmerklichkeit der Raumwerthsdifferenzen differente Raumvorstellungen nicht entstehen können; damit eine Sonderung zweier Eindrücke eintrete, müsse das Gebiet eines solchen Empfindungskreises zwischen den berührten Punkten liegen. Es ist klar, dass CZERMAK's Empfindungskreise nichts Anderes sind, als was wir als physiologische Empfindungskreise in WEBER's Sinn definirt haben, welche ebenfalls in dem Sinne, wie CZERMAK den seinigen zuschreibt, interferiren, d. h. sich theilweise decken, insofern zwei benachbarte eine Anzahl sensibler Elemente, seien es sensible Punkte, oder anatomische Empfindungskreise WEBER's, gemeinsam haben.

Nachdem wir somit die WEBER'sche Lehre von den Empfindungskreisen, als anatomischen Substraten des Raumsinnes der Haut, als vollkommen begründet in ihr Recht eingesetzt zu haben glauben, müssen wir dieselbe auch der Erörterung der weiteren allgemeinen Fragen nach dem Zustandekommen der Raumvorstellungen zu Grunde legen, diese Fragen selbst in ihrem Sinne formuliren. Dieselben lauten daher: Wie entsteht die specifische Ortsvorstellung, welche die von jedem einzelnen Empfindungskreis aus erzeugte Druck- oder Temperatur- (oder Schmerz-) Empfindung unzertrennlich begleitet? Welches sind die Momente, welche die Differenzen dieser Ortsvorstellungen bei der Einwirkung eines identischen Reizes auf verschiedene Empfindungskreise, also bei der Erregung der verschiedenen gesonderten Nervenfasern, welche sie mit dem Centrum verbinden, bestimmen? Wir betreten mit diesen Endfragen der Raumsinnestheorie jenes ausserordentlich difficile, unsichere Territorium, auf welchem insbesondere seit dem Ende des vorigen Jahrhunderts Philosophie und Physiologie, zum Theil ohne richtige Fühlung mit einander, Gegensätze der verschiedensten Art, zu den widersprechendsten Hypothesen geformt, in einen bis auf den heutigen Tag noch unentschiedenen Kampf geführt haben. Wenn unter diesen Gegensätzen derjenige, welcher nach HELMHOLTZ[1] als derjenige der empiristischen und nativistischen Anschauung bezeichnet wird, bis auf

[1] Die ausführlichste vergleichende Darstellung und sorgfältigste Kritik aller über den Ursprung der Raumvorstellungen aufgestellten Theorien giebt C. STUMPF, Ueb. d. psychol. Urspr. d. Raumvorst. Leipzig 1873. Vgl. ausserdem LOTZE, medicin. Psychol. S. 325 und: System d. Philos. II Th. Metaphysik S. 193 u. 543. WUNDT, Grundz. d. physiol. Psycholog. S. 470. HELMHOLTZ, Handb. d. phys. Optik. 3. Abschn. S. 427. 796. Leipzig 1867; Die Thatsache in d. Wahrnehmung. Rede etc. Berlin 1879.

den heutigen Tag die Hauptrolle gespielt hat, so ist nicht zu vergessen, dass sowohl die Nativisten über das, was sie als die angeborene Grundlage der Raumanschauung betrachten, als die Empiristen über den Weg, auf welchem, und die Mittel, durch welche die Raumanschauung empirisch erworben wird, unter sich in unvermitteltem Widerspruch stehen. Da eine erschöpfende historisch-kritische Darstellung aller hierher gehörigen Hypothesen und Theorien die Grenzen unserer Aufgabe weit überschreiten würde, wollen wir es versuchen, auf dem Wege des kritischen Raisonnements die unhaltbaren von den haltbaren Grundprincipien zu scheiden und so aus der bunten Mischung des historischen Materials die Elemente zu isoliren, welche nach unserer Ueberzeugung als solide Bausteine einer allen Thatsachen gerechten, unanfechtbaren künftigen Raumsinnestheorie verwendbar sind.

Obenan steht folgender unumstössliche Grundsatz, welcher, so selbstverständlich er erscheint, doch nicht bei allen Theorien in gebührender Weise berücksichtigt worden ist: Damit zwei Eindrücke, welche ein und derselbe, qualitativ und quantitativ identisch äussere Reiz, wie z. B. der gleiche von einer Zirkelspitze auf die Haut ausgeübte Druck, von zwei verschiedenen Empfindungskreisen aus erzeugt, von der Seele auf zwei verschiedene Orte bezogen werden können, muss der physiologische Effect, welchen der Reiz von dem einen Kreis auslöst, in irgend welchem Glied der Kette von Vorgängen, aus welchen er besteht, in irgend welcher Weise verschieden sein von dem, welchen er von dem anderen Empfindungskreis aus hervorruft. Wären die physiologischen Wirkungen des Reizes bis hinauf zu dem psychophysischen Vorgang in der Endstation der Tastnervenfaser in beiden Fällen absolut identisch, so müsste auch der aus dem letzteren resultirende psychische Process, welcher sich aus einer Druckempfindung und einer damit unablöslich verbundenen Ortsvorstellung zusammensetzt, absolut derselbe sein. Damit der eine Bestandtheil des psychischen Erfolgs, die Ortsvorstellung, in beiden Fällen eine verschiedene werden kann — gleichviel in welchem Verhältniss sie zur Druckempfindung steht, gleichviel ob sie eine angeborene oder erlernte Seelenthätigkeit ob sie eine unmittelbare oder mittelbare Reaction auf die zufliessende Nervenerregung darstellt — muss eine Veranlassung zur Bildung der verschiedenen Ortsvorstellungen der Seele in irgend welcher Differenz der physischen Folgen des Reizes gegeben sein, und diese Veranlassung muss eine zwingende und für jeden einzelnen Empfindungskreis eine constante sein. Es ist ein entschiedenes Verdienst von LOTZE, diesen Fundamentalsatz zuerst mit vollem

Nachdruck hervorgehoben und für die hypothetischen, von dem Ort der Reizung abhängigen und zu seiner Erkenntniss führenden Verschiedenheiten des physiologischen Reizerfolgs den allgemeinen Ausdruck: „Localzeichen“ eingeführt zu haben. Sobald man darunter nichts weiter versteht, als was wir eben erörtert haben, sobald man zunächst von jeder näheren Interpretation desselben, von jeder Hypothese über die Art der darunter zu verstehenden Differenzen und die Art ihrer Wirkung auf die Seele absieht, ist der Begriff Localzeichen ein durchaus wohlbegründeter, unanfechtbarer. Wir wollen im Folgenden seine Begründung noch etwas weiter ausführen, und unter Zurückweisung falscher Auffassungen seiner richtigen Auslegung näher zu treten suchen.

Eine absolut unhaltbare Vorstellung ist die, dass der Ort, an welchem ein Sinnesorgan von einem Reiz getroffen wird, an sich die Ursache der Wahrnehmung dieses Ortes und seiner Unterscheidung von anderen Reizorten sei. Es ist dies ebenso undenkbar, als es die Behauptung wäre, dass zur Erkenntniss der Herkunft einer telegraphischen Depesche aus der Station N die einfache Thatsache, dass der vermittelnde Draht in N entspringt, genüge. Eine solche Vorstellung, die sich immer und immer wieder einmal in die Sinnesphysiologie eingeschlichen hat, fusst auf der naiven Voraussetzung, dass die Seele eine Art von Spiegel sei, in welchem sich die peripherischen Sinnesorgane mit ihren räumlichen Verhältnissen und denjenigen der auf ihnen hergestellten Abdrücke der Aussenwelt direct spiegelten, oder als ob sie hinter dem äusseren Sinnesorgan noch ein zweites inneres besässe, von welchem sie direct die räumlichen Verhältnisse des ersteren und der dasselbe treffenden Reize ablesen könnte, eine Voraussetzung, welche abgesehen von ihrer Unverträglichkeit mit dem Wesen der Seele an die Stelle eines zu lösenden Räthsels ein neues einführt. Auf einer solchen Voraussetzung beruhen aber z. B. alle älteren Versuche, das Aufrechtsehen aus einer von der Seele vorgenommenen Umkehrung des verkehrten Netzhautbildes zu erklären, als ob die Seele jemals eine directe Kenntniss von der Existenz des letzteren und seinen verkehrten räumlichen Anordnungen erhielte! Die räumliche Ausbreitung des Tastorgans wie der Netzhaut als eine Mosaik gesonderter Nervenendigungen ist allerdings eine unerlässliche Bedingung für die Möglichkeit der räumlichen Sonderung der Eindrücke in der Vorstellung, aber niemals selbst Gegenstand directer Wahrnehmung für die Seele. Die räumlichen Verhältnisse des Netzhautbildes oder die Tastabdrücke eines äusseren Objects auf der Haut werden ja selbstverständlich mit ihrer

Umsetzung in eine Reihe von Nervenerregungen, welche im Sinnesnervenstamm nebeneinander dem Hirn zufliessen, als solche vernichtet, geradeso wie in einem unterseeischen Kabel, welches z. B. die Leitungsdrähte von zehn beliebig über das Festland zerstreuten Stationen zusammenfasst, die neben einander herlaufenden elektrischen Ströme nichts mehr von der räumlichen Lage ihrer Aufgabestationen an sich tragen. Die räumliche Wahrnehmung beruht darauf, dass die Seele die auf dem Wege zu ihr vernichteten räumlichen Verhältnisse, welche in dem Netzhautbild oder dem Tastabdruck repräsentirt waren, in der Vorstellung von Grund aus neu construirt. Damit sie diese Operation ausführen könne, genügt es nicht, dass ihr die an der Peripherie gesonderten räumlichen Elemente, die auf die einzelnen Empfindungskreise treffenden Eindrücke, durch separate Nervenleitungen gesondert zugeführt werden. Das würde wohl die Veranlassung zum Auseinanderhalten zweier Eindrücke aber noch nicht zu ihrer räumlichen Ordnung geben, wie wir ja auch zwei durch separate Acusticusfasern in der Seele erzeugte Tonempfindungen auseinanderhalten, ohne sie jedoch in eine räumliche Beziehung zu einander zu setzen. Eine zweite Conditio sine qua non für den räumlichen Aufbau der Separateindrücke ist die, dass letztere irgendwelche, irgendwo und irgendwie ihnen aufgeprägte Marken, das sind eben die sogenannten Localzeichen, an sich tragen, deren Art und Werth die Seele bestimmt, den einzelnen Eindrücken diesen oder jenen Platz in dem Neubau der räumlichen Anschauung anzuweisen. Es verhält sich, um noch ein treffendes Beispiel von Lotze zu citiren, wie bei dem Umräumen einer Bibliothek oder einer Sammlung in ein anderes Local. Auch hier wird die ursprüngliche räumliche Anordnung im alten Local beim Transport vollständig zerstört, und werden zur Wiederherstellung derselben im neuen Local die den Büchern oder Exemplaren der Sammlung aufgeklebten Nummern oder anderweitigen Ordnungszeichen benutzt.

Es bedarf kaum einer ausdrücklichen Erörterung, dass ebensowenig wie der peripherische Ort, an welchem eine Seh- oder Tastfaser gereizt wird, der Ort der centralen Station, welcher die Nervenerregung zur Umsetzung in einen psychischen Vorgang übergeben wird, an sich der Seele zur Bildung einer Ortsvorstellung verhelfen kann. Eine in diesem Sinne aufgestellte Hypothese ruht auf denselben Grundirrthümern, welche wir für die vorher besprochene zurückgewiesen haben; sie versetzt dieselben gewissermaassen nur um eine Station näher an den Herd der psychischen Action heran. Wunderbarer Weise scheint selbst Weber derselben nicht ganz fern-

gestanden zu haben, indem er einmal, wo er von der Eintheilung des Sinnesorganes in Empfindungskreise als Bedingung des Ortssinnes spricht, hinzufügt: „Zugleich darf man vermuthen, dass die von jenen Abtheilungen ausgehenden Nervenfäden in einer ähnlichen Ordnung im Gehirn, als in dem empfindlichen Organ neben einander liegen.“ Allerdings sprechen für eine solche der Lagerung der Empfindungskreise correspondirende Anordnung der Ganglienzellen, in welche sich die Tast- oder Sehfasern inseriren einige Umstände, wie die Thatsache, dass bei der häufig vorkommenden centralen Irradiation von Empfindungen (Schmerz, Schauder) bei beschränktem peripherischen Reiz die scheinbar nacheinander ergriffenen Orte in derselben Ordnung sich folgen, wie sie factisch an der Peripherie liegen, dass ferner bei partiellen Blutergüssen ins Gehirn eine partielle sensible Lähmung immer nebeneinander liegende Partien der Haut ergreift. Allein selbst wenn eine solche Anordnung im Hirn anatomisch sicher erwiesen wäre, würde sie doch zur Erklärung des Ortssinnes absolut unverwerthbar sein. Die Seele kommt überhaupt niemals zur Kenntniss von bestimmten Apparaten des Hirns als Vermittler der Empfindungsvorgänge, sowenig als sie je etwas von den gereizten Netzhautpunkten erfährt, geschweige, dass von ihr die räumliche Anordnung jener Apparate jemals wahrgenommen würde. Was für die Seele da sein soll, muss, wie Lotze treffend bemerkt, auf sie wirken; soll also der Ankunftsort der Sinnesdepesche im Hirn ihr bekannt werden, so muss derselbe auf sie wirken. Daraus folgt, dass selbst wenn eine Bekanntschaft der Seele mit diesem Ort thatsächlich wäre, wir doch wieder fragen müssten, durch welche Zeichen er sich ihr verräth, und damit wären wir wieder soweit, wie vorher.

Wir hätten uns vielleicht selbst diese kurze Zurückweisung ersparen können, wenn nicht gerade in allerneuester Zeit die jüngste Hypothese vom Ursprung der Ortsvorstellungen in einem gewissen Sinne wiederum die Irrlehre von der unmittelbaren Wahrnahme des Ortes einer nervösen Thätigkeit zu rehabilitiren versuchte. Es ist dies folgende von Stricker[1] aufgestellte Hypothese. Nach Stricker ist das Bewusstsein nicht ausschliesslich an die Thätigkeit der Ganglienzellen des Hirnes gebunden, sondern es kommt dasselbe auch allen vom Körper der Ganglienzellen ausstrahlenden Ausläufern zu, und zwar sowohl denjenigen, welche die verschiedenen Zellen und Zellengruppen des Hirnes unter einander verbinden — woraus allein die Einheitlichkeit des Bewusstseins erklärlich werden soll — als denjenigen, welche als Nervenfasern sich bis an die

1 Stricker, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXVI. S. 283. 1877; Studien über das Bewusstsein. Wien 1879.

Peripherie des Körpers ausstrecken. Beide Arten von Ausläufern functioniren demnach psychisch wie die Ganglienzellen, das Bewusstsein, das „Ich" reicht so weit, als die Fühlnerven reichen, letztere sind vorgeschobene Wohnsitze der Seele. In Folge dieser Allgegenwart des Bewusstseins soll nun der Ort, an welchem im ganzen Verlauf eines aus Nervenfaser und Ganglienzelle zusammengesetzten Gefühlsapparates etwas geschieht, unmittelbar zur Wahrnehmung kommen. Es soll daher, wenn ein Tastreiz das Ende einer Hautnervenfaser erregt, erstens auf diese Weise unmittelbar eine Ortsvorstellung von dem peripheren Reizort entstehen, zweitens eine im Kopf, dem Sitz der centralen Ganglienzelle, localisirte Ortsvorstellung; drittens soll aber auch unter krankhaften Verhältnissen, „wenn die Vorgänge im Nerven selbst besonders lebhaft werden", der ganze Verlauf der Nervenfaser direct zur Wahrnehmung gelangen. Während STRICKER in diesem Sinne die Bildung der Ortsvorstellung als einen zwangsmässig die Erregung des Sinnesapparates begleitenden, angeborenen Vorgang betrachtet, setzt er der Ortsvorstellung die Raumvorstellung, d. h. die Wahrnehmung der Ausdehnung der Orte, als etwas Verschiedenes als einen secundären Akt gegenüber, welcher erst auf dem Wege der Erfahrung mit Hülfe des Muskelsinnes erlernt werden soll. Wir kommen auf diesen Punkt unten zurück, bemerken jedoch im Voraus, dass wir diese Unterscheidung als durchaus unhaltbar zurückweisen müssen.

Ich zweifle sehr, dass diese Anschauung STRICKER's, welche ohne jeden näheren Beweis die bestbegründeten Sätze der Nervenphysiologie über den Haufen wirft, sich einen einzigen Anhänger erwerben wird. Wir können es uns daher ersparen, ihre evidenten Blössen näher zu beleuchten und ihre Unmöglichkeit aus den ungeheuerlichen Consequenzen, zu denen sie führt, zu demonstriren. Es sind nicht einmal die Erscheinungen, welche STRICKER aus der Ausbreitung des Bewusstseins über den ganzen nervösen Sinnesapparat erklären will und als Beweise für dieselbe ausgiebt, thatsächlich begründet. Ich läugne mit aller Bestimmtheit, dass bei der Erzeugung eines Tasteindruckes neben der entschiedenen, an der Peripherie localisirten Ortsvorstellung eine Vorstellung von einem Ort im Centrum entstehe; trotzdem ich weiss, dass in meinem Kopfe bei jeder Tastempfindung etwas vor sich geht, merke ich bei der grössten Aufmerksamkeit nichts von einer solchen Kopfvorstellung, kann es nicht einmal zu der Einbildung einer solchen bringen. Wenn sich STRICKER zum Beweis der von Alters her feststehenden Anerkennung dieser Vorstellung und der darauf beruhenden Kenntniss vom Sitze des Bewusstseins im Kopfe auf den Mythus vom Ursprung der Minerva aus dem Haupt des Zeus beruft, so ist diesem äusserst zweideutigen Argumente die historische Thatsache gegenüberzustellen, dass die Mehrzahl der alten griechischen Philosophen ausser DEMOKRIT den Sitz der Seele nicht im Hirn, sondern im Herzen suchte! Ich läugne ferner, dass jemals bei einem Kranken die Wahrnehmung des Nervenverlaufes durch directe Localisation der Schmerzen sicher constatirt sei, oder, wenn es der Fall, dies etwas für STRICKER beweise. Soviel mir bekannt, treten solche anscheinend im Verlaufe eines Nervenstammes sich ausbreitende Schmerzen besonders bei Erkrankung der Nervencentra als Folgen centraler Reizung,

also ohne dass dabei in den peripheren Nervenstämmen überhaupt etwas vor sich geht, auf. In der Regel entspricht ferner ihre Ausbreitung nicht dem Verlauf des Nervenstammes, sondern dem peripherischen Endbezirk irgend eines Astes. Wenn aber auch einmal bei Entzündung eines Nervenstammes Schmerzen eintreten, welche genau seinen Verlauf einhalten, so ist es wahrscheinlicher, dass sie durch Reizung sensibler Nervenenden in der unmittelbaren Umgebung des Stammes entstehen und demgemäss localisirt werden, als dass sie durch Reizung der im Stamme verlaufenden Fasern erzeugt, von einem diesem Stamme innewohnenden Bewusstsein direct in dessen Verlauf verlegt werden. Wäre Stricker's Anschauung begründet, so müsste nothwendig auch bei jeder intensiven peripherischen Erregung der Verlauf der gereizten Fasern zur Wahrnehmung gelangen, was niemals der Fall ist.

Wir halten ferner folgenden allgemeinen Satz für begründet: die Quelle der Localzeichen liegt nicht an der Peripherie, sondern im Centrum. Sie liegt nicht in einer am peripherischen Ende jeder Sinnesnervenfaser gegebenen, für jeden Empfindungskreis verschiedenen Einrichtung, welche bewirkte, dass ein und derselbe Reiz in jeder verschiedenen Nervenfaser der von ihm erzeugten Erregung einen irgend wie verschiedenen Charakter aufprägt. Gegen eine solche Annahme spricht entscheidend die oben besprochene Thatsache der excentrischen Perception, d. h. die Localisirung auch derjenigen Empfindungen in dem peripherischen Endbezirk der Faser, welche durch deren Reizung im Verlauf erzeugt worden. Man könnte ferner — und damit wäre die eben genannte Thatsache in Einklang zu bringen — die Ursache der Localzeichen in Differenzen irgend welcher Eigenschaft der zu den verschiedenen Empfindungskreisen gehörigen Nervenfasern und daraus resultirenden Differenzen des Erregungsprocesses, welchen ein und derselbe Reiz hervorruft, suchen. Allein zu dieser Annahme, welche dem wohlbegründeten Lehrsatz von der Identität aller Nervenfasern und der Identität des Erregungsvorganges in allen denselben widerstreitet, würde man sich nur entschliessen, wenn eine zwingende Nöthigung vorhanden wäre. Das ist aber durchaus nicht der Fall, indem die Annahme weit näher liegt und plausibler erscheint, dass die Quelle der Localzeichen in den Ganglienzellen liegt, denen die Nervenfasern ihre Erregung zur Umsetzung übergeben, d. h. dass es Differenzen der Einrichtungen dieser Empfangsstationen sind, welche die irgendwie beschaffenen Abweichungen des Effectes der ankommenden Erregungen bedingen, welche der Seele als Zeichen für die Bildung der Ortsvorstellung dienen.

Ein weiterer Satz welchen wir aufstellen zu müssen glauben ist folgender: Jedem Sinn, welcher räumliche Wahrnehmungen ver-

mittelt, kommt ein eigenes System von Localzeichen zu, deren Entstehung irgendwie in dem physiologischen Hergang der Thätigkeit des betreffenden Sinnesapparates begründet ist. Die gereizte Tastnervenfaser erzeugt in den centralen Werkstätten des Tastsinnes, die gereizte Opticusfaser in den Werkstätten des Gesichtssinnes die specifischen Zeichen, welche einerseits mit der Druck- und Temperaturempfindung, andererseits mit der Farbenempfindung combinirt, jede in ihrer Sphäre die Localisirung der betreffenden Empfindungen vermitteln. Wir haben diesen Satz, welcher eigentlich schon in den vorhergehenden Erörterungen begründet ist, besonders formulirt als Negation einer bestimmten entgegenstehenden Theorie, welche die Bildung von Raumvorstellungen als ausschliessliches Privilegium einem einzigen Sinne zuweisen will, die räumlichen Wahrnehmungen der übrigen nur einer Association ihrer specifischen Empfindungen mit den räumlichen Aussagen des ersteren zuschreibt. Es ist die besonders von AL. BAIN[1] ausgebildete sogenannte Associationstheorie, und der Sinn, welchem sie ausschliesslich die Bildung von Raumvorstellungen als Inhalt zuerkennt, der Muskelsinn. Obwohl diese Theorie durch einen Kreis von Thatsachen, aus denen unzweifelhaft hervorgeht, dass Gesichts- und Tastsinn auch ohne jede Beihülfe des Muskelsinnes räumliche Wahrnehmungen vermitteln können, entscheidend widerlegt ist, müssen wir ihr doch eine nähere Erörterung widmen, besonders weil sie uns die Gelegenheit giebt, die Leistungen des Muskelsinnes an sich als Raumsinn und seine Beziehungen zum Tastsinn zu besprechen.

Wir haben bereits oben die Thatsache hingestellt, dass alle activen durch die Thätigkeit der willkürlichen Muskeln hervorgebrachten Bewegungen unserer Glieder von Empfindungen begleitet sind, welche die Bewegung der Ruhe gegenüber charakterisiren und an welche sich räumliche Vorstellungen von Art, Richtung und Grösse der ausgeführten Bewegungen, von der durch dieselbe herbeigeführten Form, Lage und gegenseitigen Abstand der bewegten Theile anknüpfen. Erheben wir einen Arm oder drehen wir ihn in horizontaler Ebene, so erhalten wir eine genaue Vorstellung von der Höhe zu welcher wir ihn erhoben, von dem Winkel, um welchen wir ihn gedreht, von der neuen Lage, welche er am Ende der Bewegung einnimmt. Beschreiben wir mit der Fingerspitze eine Bahn im äusseren Raum, so steht vor dem Bewusstsein die Vorstellung von der Länge und Richtung der Bahn, ob sie geradlinig oder kreisförmig

---

1 AL. BAIN, The Senses and the Intellect. London 1864.

u. s. w., welches der Durchmesser des beschriebenen Kreises; drehen wir den Augapfel um irgend eine Achse, so wissen wir, in welcher Richtung wir ihn gedreht, welches die neue Richtung, welche die Blicklinie einnimmt.[1]

Alle diese Vorstellungen verdanken wir den Muskelempfindungen. Sie unterscheiden sich zunächst untereinander hinsichtlich ihrer Intensität und ihrer Dauer. Die Intensität der Muskelempfindung belehrt uns über den der Muskelcontraction entgegenstehenden Widerstand, giebt uns also den Begriff der bei der Contraction aufgewandten Kraft; ja wir bezeichnen mit Kraft geradezu die Intensität unseres Muskelgefühles. Ebenso giebt uns die Dauer der Muskelempfindung, wie die einer jeden anderen Empfindung, den Begriff der Zeit. Ferner scheidet man die Muskelempfindungen in Zugempfindungen, Gefühle der constant bleibenden Contraction, Spannung des Muskels, und in Bewegungsempfindungen, Gefühle der Veränderung des Contractionszustandes. Die Dauer der Bewegungsempfindung giebt uns, so lange sie allein ist, wie die jeder Muskelempfindung die Vorstellung der Zeit. Sobald sich gewisse andere Vorstellungen (gewisse Tast- und Gesichtsvorstellungen) mit ihr associiren, so wird sie nach BAIN in das primäre Element der Raumvorstellung umgewandelt. Nach ihm bezeichnet Raum oder Ausdehnung die Dauer eines Bewegungsgefühls, Muskelgefühls. Die weiteren Einzelheiten der Definition, welche durch die Berücksichtigung der Geschwindigkeit der Bewegung nothwendig sind, wollen wir übergehen. Die Muskelgefühle sind in den meisten Fällen von Tastgefühlen begleitet, wenn wir z. B. mit der Hand über den Tisch fahren oder wenn wir, mit der Feder in der Hand, schreiben. Dadurch werden die Grenzpunkte der Bewegung deutlicher markirt, der Anfang und das Ende des Contractionsgefühles durch das Auftreten und Verschwinden der Tastgefühle; ferner ist die Reihe der Tastgefühle ein unterstützendes Kriterium für die Dauer des Muskelgefühles. Die das Muskelgefühl begleitenden Tastempfindungen können während der Dauer desselben ungeändert bleiben; wenn wir mit der Hand ein Messer ergreifen und in der Luft herumfahren, so wird die Muskelempfindung von einer ungeändert bleibenden Berührungsempfindung während der ganzen Dauer begleitet, es entsteht nur eine Zeitvorstellung gerade so, als ob das Muskelgefühl nicht von einer Tastempfindung begleitet

1 Bis hierher reichte FUNKE's Ausarbeitung. Der Rest ist, zum Theil nach hinterlassenen Notizen, von Herrn Professor Dr. LATSCHENBERGER verfasst, dessen grosse Güte es ermöglichte, die Arbeit im Sinne FUNKE's zum Abschluss zu bringen. Die Redaction.

wäre. Es können aber die das Muskelgefühl begleitenden Tastgefühle während der Dauer des ersteren sich beständig ändern und dabei eine feste Reihe bilden. Wenn wir mit der Hand über den Tisch streichen, so werden die Muskelgefühle von sich beständig ändernden Tastgefühlen begleitet, die eine feste Reihe bilden. Diese kehrt sich um, wenn die Bewegung umgekehrt wird, sie wiederholt sich, wenn die Bewegung wiederholt wird; dadurch wird die Eigenschaft der Permanenz, der Festigkeit der Anordnung, der Coexistenz, also die Eigenschaften des Raumes erzeugt. Die Dauer des Bewegungsgefühles ist durch die feste Reihe der Tastempfindungen zur Raumvorstellung selbst geworden. In ganz derselben Weise wird die Dauer des Muskelgefühles der Bulbusmuskeln durch ähnliche feste Reihen von Gesichtsempfindungen zur Raumvorstellung umgewandelt. Nach Bain ist der Raum ein Empfindungscomplex, an dessen Bildung sich zweierlei Componenten betheiligen, einerseits Bewegungsempfindungen, andererseits mit den vorher beschriebenen Eigenschaften ausgestattete feste Reihen von Tastempfindungen, bezüglich Gesichtsempfindungen.

Stumpf stellt zwei Gruppen von Fällen auf, durch die er in ganz klarer Weise die Theorie Bain's widerlegt. 1) Es giebt Fälle, wo alle von Bain bezeichneten Momente vorhanden sind und doch nicht Raum vorgestellt wird. Wenn wir nach vor- und rückwärts wiederholt eine Skala singen, so haben wir eine Muskelempfindung der Kehlkopfmuskeln, begleitet von einer mit den von Bain geforderten Eigenschaften ausgestatteten Reihe von Tonempfindungen, und doch entsteht keine Raumvorstellung. 2) Es giebt Fälle, wo nicht alle diese Momente vorhanden sind und wir doch Raumvorstellungen haben. Nehmen wir zwei Scheiben, von denen die eine einen Durchmesser von einem Zoll, die andere von zwei Zoll besitzt und die sich durch sonst nichts unterscheiden, weder durch das Material noch durch Gewicht, Temperatur u. s. w., und lassen wir sie uns bei geschlossenen Augen und vollständiger Ruhe der Körpermuskeln nach einander auf irgend eine Hautabtheilung durch gleiche Zeiten auflegen, so unterscheiden wir scharf die grössere von der kleineren. Wir haben also in diesem Falle ganz richtige Raumvorstellungen, obwohl jede Muskelempfindung fehlt. Es handelt sich hier um keine Association von Muskelgefühlen aus irgend welchem anderen Sinne etc. Denn diese Association verschiedener richtiger Muskelgefühle setzt ein entsprechendes Motiv d. i. entsprechend verschiedene Tastempfindungen voraus; es unterscheiden sich die Scheiben nur durch ihre Ausdehnung, durch den Raum, den sie auf der Hautfläche einneh-

men, und es setzt deshalb eine solche Association schon voraus, dass der Tastsinn allein schon die verschiedene Ausdehnung wahrnimmt. Wenn wir das Gesichtsfeld durch den Funken einer Leidenerflasche momentan erleuchten, so unterscheiden wir die Dimensionen der momentan beleuchteten Gegenstände; wir bekommen also Raumvorstellungen, obwohl die Zeit, während welcher die Gegenstände gesehen werden, so kurz ist, dass die Augenmuskeln keine Contractionen ausführen können, das Auge während des Sehens absolut ruhig ist und somit alle Bewegungsgefühle fehlen. Wir haben also festgestellt, dass dem Tastsinn und dem Gesichtssinn selbständige Raumvorstellungen zukommen, die sie nicht dem Muskelsinn verdanken; sie besitzen also jeder ein eigenes System von Localzeichen.

Resumiren wir die Ergebnisse unserer kritischen Sichtung des historischen Materials, so lassen sie sich zur folgenden allen Thatsachen gerechten Theorie zusammenfügen. Der Ausgangspunkt ist Weber's Theorie von den Empfindungskreisen, deren Grundlage der Satz ist, dass eine Nervenfaser nur eine in jeder Beziehung einfache nie discrete Empfindung veranlasst, wenn durch einen Reiz in ihrem Endigungsgebiet ein Eindruck hervorgerufen wird. Die von einer Nervenfaser durch eine oder mehrere Endigungen versorgte Hautabtheilung ist ein „anatomischer Empfindungskreis". Die ganze Hautoberfläche ist also eine aus solchen anatomischen Empfindungskreisen zusammengesetzte continuirliche Mosaik. Jeder anatomische Empfindungskreis ist ein physiologisches Element des Raumsinnes, dem ein kleinstes Vorstellungselement entspricht, das sich mit der Erregung der entsprechenden Nervenfaser verbindet. Diese Vorstellungselemente setzen abermals eine der Hautmosaik congruente Mosaik, das Vorstellungsbild der Tastfläche zusammen. Jedem Vorstellungselement kommt ein bestimmter „Raumwerth" zu, der einem Empfindungskreis entspricht und der sich von denen aller übrigen unterscheidet. Die Differenzen der Raumwerthe sind um so beträchtlicher je weiter die zugehörigen Felder der Hautmosaik auseinanderliegen. Werden zwei Tastreize auf denselben Empfindungskreis ausgeübt, so werden sie zu einer einfachen Empfindung verschmolzen. Wenn beide Reize verschiedene Empfindungskreise treffen, so werden sie nur dann unterschieden, wenn die Seele die Differenzen der beiden Raumwerthe erkennt. Werden zwei benachbarte Empfindungskreise getroffen, so wird höchstens an der Fingerspitze des Blinden die Differenz erkannt, in jedem anderen Fall aber müssen die getroffenen Kreise weiter auseinander liegen, durch mehr oder weniger nicht berührte getrennt sein. Diese kleinste erkannte Differenz ist der

Schwellenwerth des Auffassungsvermögens. Wenn diese Schwelle erreicht wird, so ordnet die Seele die Eindrücke nebeneinander, der einfache Eindruck wird verbreitert oder verlängert. Damit beide von einander getrennt werden, damit eine Lücke zwischen beiden empfunden werde, müssen zwischen den Raumwerthen der beiden berührten Kreise noch auffassbare, den Zwischenkreisen angehörige Zwischenstufen der Raumwerthe liegen, die von der Seele vermisst, deren entsprechende Vorstellungsfelder also leer gelassen werden. Im seltensten Fall genügt ein leerer Kreis zwischen den berührten zur Wahrnehmung einer Lücke, sonst aber sind viele dazu nothwendig. Daraus erklärt sich die Verfeinerung des Ortssinnes durch Uebung; sie ist das Analogon der Verfeinerung des Auffassungsvermögens für Qualitätsdifferenzen z. B. für Farbennüancen, Tonhöhen durch Uebung. Die kleinste wahrnehmbare Distanz — der Durchmesser des „physiologischen Empfindungskreises" — ist kein Maass für den Durchmesser des anatomischen Empfindungskreises. Nur im seltensten Fall, wenn ein freier Empfindungskreis zwischen den beiden berührten zur Wahrnehmung einer Lücke genügt, sind beide identische Grössen, in allen andern Fällen umfasst ein physiologischer mehrere, oft viele anatomische Empfindungskreise. Die Grösse eines physiologischen hängt weniger von der Grösse der ihn zusammensetzenden anatomischen Empfindungskreise als wesentlich von der Zahl derselben ab. Diese hängt von der Schärfe des Auffassungsvermögens der Seele ab, welche bedingt wird einerseits von der Feinheit der Abstufung der Raumwerthe, andererseits von den verschiedenen Graden der Uebung. Die anatomischen Empfindungskreise sind absolut unveränderliche, physisch gegebene Grössen; die physiologischen dagegen sind durch Uebung variable Grössen. Die Seele beurtheilt die Grösse der Distanz zweier Eindrücke durch die ungefähre Schätzung der Zahl freier, zwischen den beiden berührten liegender physiologischer Empfindungskreise. Ganz in derselben Weise beurtheilt sie die Länge einer Reihe continuirlich aneinander grenzender Eindrücke. Zur Wahrnehmung der Form der berührten Tastfläche gelangt die Seele durch die Einordnung der den gleichzeitig oder nacheinander auf die Haut wirkenden Eindrücken entsprechenden Raumwerthe in die entsprechenden Felder der Vorstellungsmosaik. Der Seele ist also für die Erkennung der Formen ebenfalls durch die Grösse der Elemente, der physiologischen Empfindungskreise eine Grenze gesteckt. Höchst wahrscheinlich gilt für die extensiven Wahrnehmungen des Ortssinnes ebenso Weber's Gesetz wie für die intensiven des Drucksinnes. Es entspricht demnach die extensive Unterschieds-

schwelle demselben relativen Zuwachs der Zahl der getroffenen Empfindungskreise. Die durch zwei qualitativ und quantitativ identische Reize hervorgerufenen Eindrücke lösen von verschiedenen Empfindungskreisen aus entsprechend verschiedene physiologische Effecte aus. Diese vom Reizort abhängigen Verschiedenheiten des physiologischen d. i. physischen (LOTZE) Reizerfolges nennt man „Localzeichen" (LOTZE). Die Quelle der Localzeichen liegt nicht an der Peripherie, ferner nicht in den leitenden Nervenfasern, sondern im Centrum. Die Localzeichen, die Differenzen der ankommenden Erregungen werden bedingt durch entsprechende Differenzen der Empfangsstationen, also wahrscheinlich der Ganglienzellen. Dem Tastsinn kommt wie jedem Sinn, der räumliche Wahrnehmungen vermittelt, ein eigenes System von Localzeichen zu, die sich nur mit den specifischen Empfindungen des Tastsinnes combiniren.

ZWEITER THEIL.

DER TEMPERATURSINN

VON

PROF. EWALD HERING IN PRAG.

I. Das Organ des Temperatursinns und seine Reizmittel.

Wir verstehen unter Temperatursinn das Vermögen, kalt und warm zu empfinden und mit Hülfe dieser Empfindungen Temperaturverschiedenheiten der Aussendinge wahrzunehmen.

Organ des Temperatursinnes ist nach E. H. WEBER[1], dem Begründer der Lehre vom Temperatursinne, die ganze äussere Haut, die Haut des äusseren Gehörganges, die Schleimhaut der Mund- und Rachenhöhle, des vorderen Einganges und des Bodens der Nasenhöhle und der oberen Fläche des Gaumenvorhanges, endlich die Schleimhaut des Afters.

Die Steigerung oder Minderung der Eigenwärme eines Nerven in seinem Verlaufe bewirkt nach WEBER zwar Schmerzempfindungen und Störungen seines Leitungsvermögens, aber keine Temperaturempfindungen; ebenso wenig konnte WEBER durch Druck auf den Nerv. ulnaris am Ellbogen Temperaturempfindungen im Verbreitungsbezirke dieses Nerven erzeugen. Hiernach hätten wir in den mit Temperatursinn begabten Theilen besondere Nervenendapparate von eigenthümlicher Erregbarkeit anzunehmen, durch deren Vermittlung die Temperaturempfindungen erzeugt werden.

WEBER tauchte die Spitze des Ellbogens in eiskaltes Wasser und empfand nach ungefähr 16 Sekunden einen Schmerz, der mit der Empfindung der Kälte keine Aehnlichkeit hatte und nicht auf den Ellbogen beschränkt war, sondern einen Theil des Unterarmes und der Hand einzunehmen schien. Bei längerer Fortsetzung des Versuchs entstand das

1 E. H. WEBER, WAGNER's Handwörterb. d. Physiol. III. 2. S. 481. 1846.

Gefühl des Eingeschlafenseins an den Fingern im Verbreitungsbezirke des Nerv. ulnaris.

Ein Wasserklystier von 15°, beziehungsweise 6° R., erregte am After ein starkes Kältegefühl, als es eindrang und als es wieder abging. Im Innern des Bauches aber, oder in der Beckenhöhle hatte der Beobachter kein Gefühl von Kälte. Erst nach einiger Zeit glaubte derselbe eine schwache Kälte in der Gegend der vordern Bauchwand wahrzunehmen, was WEBER aus der von innen her erfolgten Abkühlung der äussern Bauchhaut erklärt. Es ist anzunehmen, dass bei diesen Versuchen ausser den Eingeweiden auch gewisse Aeste der Kreuz- und Lendennerven erheblich abgekühlt wurden.

Auf eiternden Brandwunden und auf Verbrennungsnarben konnte WEBER durch Berührung mit kalten und warmen Körpern keine Temperaturempfindungen, sondern nur Schmerz erzeugen. Ein zuvor in Wasser von 7—10° R. eingetauchter Spatel wurde von den Patienten nicht von einem andern unterschieden, welcher in Wasser von 36—40° R. eingetaucht gewesen war, während die Unterscheidung auf den unversehrten benachbarten Hautstellen sehr leicht war.

Beim Verschlucken sehr kalter (bis 0°) und sehr warmer (bis 50° R.) Getränke konnte WEBER die Empfindungen der Kälte oder Wärme nur im Munde, am Gaumen und im Schlunde, nicht aber in der Speiseröhre oder im Magen wahrnehmen. In der Magengegend entstand nach dem Trinken des kalten Wassers eine Empfindung, die WEBER „für die Empfindung schwacher Kälte hielt“ und auf die Abkühlung der äusseren Haut zurückführte. Als er das heisse Wasser trank, entstand beim Ankommen der heissen Flüssigkeit im Magen ein länger fortdauerndes Gefühl, aber es war kein deutliches Gefühl von Wärme und sogar mit einem Kältegefühl zu verwechseln.

Die durch einen Anus artificialis zugänglich gewordene Dickdarmschleimhaut berührte WEBER mit Eis und mit einem heissen Eisen, ohne dass die Patientin irgend eine Empfindung erhielt.

Beim Einziehen sehr kalter Luft in die Nase empfindet man, wie WEBER hervorhob, die Kälte nur am Eingange und am Boden der Nasenhöhle sowie auf der obern Fläche des weichen Gaumens. Berührung eines höher gelegenen Theiles der Nasenschleimhaut mit einem kalten Eisen bewirkt nur Kitzel, aber kein Kältegefühl.

Daraus, dass es WEBER nicht gelungen ist, durch Temperaturänderungen eines Nervenstammes Temperaturempfindungen hervorzurufen, folgt nicht, dass durch Reizung von Hautnerven in ihrem Verlaufe überhaupt keine solche Empfindungen erweckt werden könnten (FICK)[1], doch sind eingehendere Untersuchungen über die Empfindungen bei mechanischer und elektrischer Reizung der Nervenstämme bisher nicht angestellt worden.

Ueber die peripheren Endapparate derjenigen Nerven, welche Temperaturempfindungen vermitteln, ist das II. Capitel des Abschnittes über den Tastsinn zu vergleichen, wo auch die Frage

1 FICK, Lehrb. d. Anat. u. Physiol. d. Sinnesorgane. § 42. Lahr 1864.

erörtert ist, ob etwa dieselben Nervenapparate sowohl dem Temperatur- als dem Drucksinne dienen. Jedenfalls dürfen wir annehmen, dass der für den Temperatursinn in Betracht kommende Endapparat, den wir kurz den **thermischen Apparat** nennen wollen, der Hautoberfläche nahe liegt, weil an Hautstellen, die nicht eine besonders dicke Epidermis haben, die Temperaturempfindung äusserst rasch eintritt, wenn ein kaltes oder warmes Medium mit der Haut in Berührung kommt. Wir können daher auch erwarten, dass die Eigentemperatur des thermischen Apparates sich nicht erheblich von derjenigen der Epidermis unterscheidet.

Als **Reizmittel für den thermischen Apparat** dient Alles, was dessen Temperatur zu ändern vermag, ausserdem aber auch der electrische Strom. Taucht man jede Hand in ein Gefäss mit Kochsalzlösung, welche so temperirt ist, dass sie sich weder sehr kühl noch erheblich warm anfühlt, und schickt durch beide Hände einen schwachen galvanischen Strom, so erhält man an der Hand, in welcher der Strom eintritt, das Gefühl der Wärme, an der anderen das der Kühle. Nach Ritter [1] bestehen diese Gefühle bei hinreichend starkem Strome während der Dauer des Stromes fort, um nach der Oeffnung ins Gegentheil umzuschlagen. Bei sehr starken Strömen soll jedoch während der Schliessungsdauer das Gefühl der Wärme an der Eintrittstelle, das der Kälte an der Austrittstelle, und nach der Oeffnung beiderseits die entgegengesetzte Empfindung entstehen.

Auch gewisse chemische Reize rufen in der Mundschleimhaut Empfindungen hervor, welche mindestens viel Aehnlichkeit mit Temperaturempfindungen haben, so das Pfeffermünzöl ein Gefühl von Kühle, Pfeffer ein Wärmegefühl.

II. Die Adaptation des Temperaturorgans.

In einem wohltemperirten Zimmer fühlen wir meist an keiner Stelle des Körpers Wärme oder Kälte, obwohl dabei die einzelnen Theile des Temperaturorganes sehr verschieden temperirt sind. Die entblössten Theile der äussern Haut sind beträchtlich kühler als die bedeckten, am kühlsten durchschnittlich die Finger und die Nase, während z. B. die Mundschleimhaut zu den am höchsten temperirten Theilen des Temperaturorganes gehört.

Die objective Temperatur, welche der thermische Apparat einer bestimmten Hautstelle hat, wenn wir an dieser Stelle weder Wärme noch Kälte fühlen, nennen wir seine **Nullpunktstemperatur**,

1 Vgl. Du Bois-Reymond, Untersuch. üb. thier. Electricität. S. 356. Berlin 1848.

weil die Temperaturempfindung dabei so zu sagen auf dem Nullpunkte ist. Dieser physiologische Nullpunkt ist also nicht an eine ganz bestimmte objective Hauttemperatur gebunden, sondern entspricht an verschiedenen Stellen verschiedenen objectiven Wärmegraden der Haut und insbesondere ihres thermischen Apparats.

Aber auch an einer und derselben Hautstelle ist die physiologische Nullpunktstemperatur nicht immer genau dieselbe. Wenn wir einen Raum, in welchem wir keinerlei Temperaturempfindung hatten, mit einem etwas wärmeren (oder kühleren) vertauschen, so empfinden wir anfangs Wärme (oder Kühle). Nach längerem Aufenthalte aber im zweiten Raume kann jede Temperaturempfindung wieder verschwinden. Durch Messung der objectiven Temperaturen der entblössten Hautstellen lässt sich dabei in den meisten Fällen nachweisen, dass dieselben jetzt wirklich anders temperirt sind, als im ersten Raume. Der Nullpunkt der Temperaturempfindung entspricht also jetzt für dieselbe Hautstelle einer höheren oder tieferen Eigentemperatur des thermischen Apparates. Man pflegt in solchen Fällen zu sagen, dass man sich an die Wärme oder Kühle des zweiten Raumes gewöhnt habe, und dieselbe deshalb nicht mehr, wie im Anfange, empfinde. Wir wollen dafür sagen, dass der thermische Apparat sich für seine neue Eigentemperatur im zweiten Raume vollständig adaptirt habe.

Gehen wir aus dem zweiten Raume in den ersten zurück, in welchem wir anfangs keinerlei Temperaturempfindung hatten, so erhalten wir nun umgekehrt die Empfindung der Kühle (oder Wärme), und diese besteht so lange fort, bis sich unser Temperaturorgan abermals adaptirt hat.

Die Adaptirung ist nur innerhalb gewisser Grenzen möglich. Ist die Temperatur eines Raumes, in welchem wir uns lange aufhalten, zu hoch oder zu niedrig, so können wir andauernd das Gefühl der Wärme, oder, besonders an den Händen und Füssen, das Gefühl der Kälte haben.

Bei der vollständigen Adaptirung ist immer zu bedenken, dass bei Aenderungen der Hauttemperatur, welche durch Aenderung der Temperatur des umgebenden Mediums entstehen, auch der Blutstrom in der Haut und die Wasserverdunstung an derselben, also die Heizung der Haut durch das Blut so wie die Wärmeabgabe geändert werden können. Kommt nun eine Hautstelle, die bei einer gewissen Temperatur adaptirt war, mit einem z. B. kühleren Medium in dauernde Berührung, und erweist sie sich nach einiger Zeit wieder vollständig adaptirt, so muss durch Messungen der objectiven Hauttem-

peratur festgestellt werden, ob dieselbe nach der zweiten Adaptirung auch wirklich eine andere ist als nach der ersten, und ob also dem Nullpunkte der Empfindung jetzt wirklich eine andere Temperatur der bezüglichen Hautstelle und ihres thermischen Apparates entspricht. Denn es kann auch der Fall vorkommen, dass durch Aenderung des Blutstromes und der Verdunstung die Hauttemperatur trotz veränderter Temperatur des umgebenden Mediums wieder dieselbe geworden ist.

Von der hier beschriebenen Adaptirung, welche lediglich auf eine Aenderung der Erregbarkeit des nervösen Apparates zurückzuführen ist, müssen wir die auf längerer Gewöhnung beruhende Adaptirung der Haut unterscheiden, bei welcher ausserdem bleibende Aenderungen der Circulations- und Secretionsverhältnisse und der Epidermis in Betracht kommen können.

Wenn wir an einer Hautstelle weder Wärme noch Kälte deutlich empfinden, haben wir doch immer ein gewisses Gefühl an dieser Hautstelle; häufig auch kommt es vor, dass wir bei genauerer Aufmerksamkeit doch noch eine schwache Wärme- oder Kälteempfindung wahrnehmen. Wenn aber auch Letzteres nicht der Fall ist, so bleibt die Möglichkeit bestehen, dass in dem stets mehr oder minder deutlich vorhandenen Hautgefühle, welches man auch als das Gefühl der räumlichen Begrenzung oder Limitation bezeichnet hat [1], schwache Temperaturempfindungen mit enthalten sind.

Nach einer unten zu erwähnenden Theorie des Temperatursinnes wäre zu erwarten, dass dem, was wir oben den Nullpunkt der Temperaturempfindung genannt haben, eigentlich ein Zustand entspricht, in welchem wir eine äusserst schwache Wärme- und Kälteempfindung zugleich an einer und derselben Hautstelle haben, Empfindungen, welche zwar zu schwach sind, um deutlich, jede für sich, wahrgenommen zu werden, welche aber doch einen wesentlichen Bestandtheil des immer vorhandenen Hautgefühles bilden könnten.

III. Die Abhängigkeit der Temperaturempfindung von der Eigentemperatur des thermischen Apparates.

Das Bestimmende für die Temperaturempfindung ist nach HERING [2] *die Eigentemperatur des thermischen Apparates. So oft derselbe an irgend welcher Hautstelle eine Temperatur hat, welche über seiner Nullpunktstemperatur liegt, empfinden wir Wärme, im entgegengesetzten Falle aber Kälte. Die eine oder die andere Empfindung ist um so deutlicher oder stärker, je mehr die jeweilige Temperatur des thermischen Apparates von seiner Nullpunktstemperatur abweicht.* Der Kürze wegen wollen wir jede über der Nullpunktstemperatur, als der

1 Vergl. FECHNER, Psychophysik. II. S. 325. 1860.
2 HERING, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXXV. S. 101. 1877.

neutralen, liegende Temperatur des thermischen Apparates eine positive, jede darunter liegende eine negative Eigentemperatur desselben nennen.

Wenn der thermische Apparat irgend eine constante Temperatur angenommen hat, so bedeutet dies zugleich, dass die Wärmezufuhr in demselben der Wärmeabfuhr eben das Gleichgewicht hält. Die Wärmezufuhr verdankt derselbe, abgesehen von dem Falle der äussern Wärmezufuhr, im Wesentlichen dem Blute, in untergeordneten Maasse auch seinem eignen Stoffwechsel und dem der Nachbartheile. Die Wärmeabfuhr erfolgt durch Strahlung, durch Leitung an das umgebende Medium und endlich durch die Wasserverdunstung von der Hautoberfläche.

Der fortwährend durch die Haut und also auch durch das thermische Organ von innen nach aussen fliessende Wärmestrom kann bei einer und derselben Temperatur des Organes eine verschiedene Intensität haben, und umgekehrt kann bei einer und derselben Stärke des Wärmestromes das thermische Organ verschieden temperirt sein. Doch hat die jeweilige Stärke des Wärmestromes an sich keinerlei Einfluss auf die Temperaturempfindung. Eine Aenderung der Eigentemperatur des thermischen Apparates wird eintreten müssen, sobald eine Störung des bis dahin bestandenen Gleichgewichtes zwischen Zufuhr und Abfuhr der Wärme eintritt; und zwar wird eine Steigerung jener Eigentemperatur erfolgen, wenn sich die Abfuhr mindert, während die Zufuhr constant bleibt, oder wenn sich die Zufuhr steigert, während die Abfuhr unverändert bleibt, oder wenn beide sich steigern, aber die Zufuhr mehr als die Abfuhr, oder endlich, wenn sich beide mindern, aber die Abfuhr weniger als die Zufuhr. In ganz analoger Weise sind vier verschiedene Veranlassungen zu einer Senkung der Eigentemperatur des thermischen Apparates denkbar. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich zugleich, dass die Intensität des Wärmestromes ebensowohl zu- als abnehmen kann, während die Eigentemperatur des thermischen Apparates steigt, und dass dasselbe für den Fall einer Senkung dieser Eigentemperatur gilt.

Die Veranlassungen zur Wärmeempfindung. Setzen wir einen unveränderten Blutstrom in einer Hautstelle voraus, so wird jede Veranstaltung, bei welcher die Wärmeabgabe seitens der Haut gemindert wird, gleichsam eine Anstauung der Wärme und eine positive Eigentemperatur des thermischen Apparates bedingen, falls derselbe zuvor die Nullpunktstemperatur hatte. Wir werden mithin eine Wärmeempfindung erhalten.

Befinden wir uns in einem Zimmer, bei dessen Temperatur wir

uns adaptirt haben, und ist unsere Hand nur von Luft umgeben, so erfolgt gleichwohl eine fortwährende Wärmeabgabe von der Haut der Hand theils durch Strahlung, theils durch Erwärmung der berührenden Luftschicht, welche in Folge dessen aufsteigt und durch andere Luft ersetzt wird, theils endlich durch Verdunstung. Man bringe nun die Hand von unten her in ein umgekehrtes Becherglas oder noch besser in ein Holzgefäss, welches die Zimmertemperatur angenommen hat und gross genug ist, um die Hand ohne Berührung der Seitenwand aufzunehmen, und man wird nach einiger Zeit die Empfindung der Wärme erhalten. Denn durch das Gefäss wird die von der Hand erwärmte Luft am Entweichen verhindert, die Verdunstung wird gemindert, weil die Luft mehr und mehr Wasser aufnimmt, und die Strahlung nimmt auch ab, weil das Gefäss sich langsam erwärmt. In analoger Weise erhalten wir Wärmeempfindung, wenn wir Pelzhandschuhe anziehen oder sonstwie die Hand passend einhüllen. In allen solchen Fällen handelt es sich keineswegs um Wärmezufuhr zur Hand von aussen; der wesentliche Umstand liegt nur darin, dass der thermische Apparat dabei höher temperirt ist, als zuvor.

Viel schneller und stärker können wir bei dem beschriebenen Versuche Wärmeempfindung herbeiführen, wenn wir die Hand in ein Gefäss bringen, welches sammt der eingeschlossenen Luft bereits höher temperirt ist, als die Zimmerluft, jedoch nicht so hoch, wie die äusserste Schicht der Epidermis. Kommt die Temperatur der im Gefässe enthaltenen Luft der Temperatur der äusseren Epidermisschicht auch nur nahe, so fühlen wir beim Einbringen der Hand sofort deutliche Wärme. Dasselbe zeigt sich, wenn wir die Hand in Oel tauchen, dessen Temperatur derjenigen der Epidermis sehr nahe steht. In allen solchen Fällen wird der Haut keine Wärme von aussen zugeführt, sondern die Steigerung der Eigenwärme des thermischen Apparates ist lediglich die Folge der geminderten Wärmeabgabe.

Wie man die Temperatur der äusseren Epidermisschicht annähernd bestimmen kann, ohne dieselbe direct zu messen, soll unten erörtert werden.

Wird die Haut von einem Medium berührt oder bestrahlt, welches höher temperirt ist als die Epidermis, so wird nicht nur jede Wärmeabgabe sofort unmöglich, sondern die Epidermis nimmt auch Wärme von aussen auf, um so schneller, je leichter das Medium die Wärme abgibt, daher sich Metalle unter solchen Umständen wärmer anfühlen, als gleich hoch temperirte schlechte Wärmeleiter. Ist das

Medium zwar höher temperirt, als die Epidermis, aber niedriger als das die Haut durchströmende Blut, so wird die Ueberleitung von Wärme aus dem die Haut berührenden Medium zur Epidermis sehr bald wieder aufhören, die letztere weiterhin durch die innere Wärmezufuhr höher temperirt werden als das äussere Medium, und nun umgekehrt wieder Wärme an dieses abgeben. Unter allen diesen Umständen haben wir Wärmeempfindung, weil die Eigentemperatur des thermischen Apparates dabei gesteigert ist. Eine völlige Umkehr des Wärmestromes der Haut kann nur dann eintreten, wenn die Haut dauernd von einem Medium berührt oder bestrahlt wird, welches höher temperirt ist, als das die Haut durchfliessende Blut. Dies ist ein verhältnissmässig seltener Fall.

Endlich empfinden wir Wärme, ohne dass zunächst die Wärmeabgabe geändert wird, wenn die innere Wärmezufuhr zur Haut sich steigert. Eine plötzliche Hyperämie der Gesichtshaut, wie bei der Schamröthe, ist deshalb von einer Wärmeempfindung begleitet. Durch die hierbei eintretende Steigerung der Hauttemperatur wird sehr bald auch die Wärmeabgabe von derselben und somit der durch die Haut gehende Wärmestrom gesteigert, während dabei die Wärmeempfindung noch fortbestehen kann.

Nach VIERORDT[1] ist „die objective Ursache sämmtlicher Temperaturempfindungen in letzter Instanz der Durchgang einer bestimmten Wärmemenge durch die Haut". „Wir percipiren aber", sagt VIERORDT weiter, „nicht bloss die Stärke, sondern auch die Richtung des Wärmestromes in der Form von Wärme und Kälte und zwar unter Umständen ganz unabhängig von der objectiven Temperaturänderung der Haut." Die angeführten Thatsachen lehren jedoch, dass sogar in der Mehrzahl der Fälle, in welchen wir Wärmeempfindung haben, ein Wärmestrom durch die Haut in der Richtung von innen nach aussen geht, wenn er auch meistens schwächer ist, als bei jenem Zustande des thermischen Apparates, wo derselbe weder Wärme- noch Kälteempfindung auslöst. Die Wärmeempfindung bei plötzlicher Hyperämie der Haut ist sogar von einer Verstärkung des nach Aussen gehenden Wärmestromes begleitet. Eine ausführlichere Widerlegung der VIERORDT'schen Ansicht findet sich bei HERING (l. c.).

Veranlassungen zur Empfindung der Kühle oder Kälte. Eine negative Temperatur des thermischen Apparates und mit ihr die Empfindung der Kühle oder Kälte kann, wenn der Apparat die Nullpunktstemperatur hat, schon durch stärkere Bewegung der die Haut umgebenden Luft herbeigeführt werden, weil dadurch die der Haut zunächst liegende Luftschicht schneller gewechselt

---

1 VIERORDT, Grundriss d. Physiol. 5. Aufl. S. 355. 1877.

und der Wärmeverlust durch Leitung und Verdunstung gesteigert wird. Es genügt also, z. B. die Hand, die so eben auf dem Nullpunkte der Empfindung war, rasch durch die Luft zu bewegen, oder Luft von Zimmertemperatur gegen die Hand zu blasen, um eine kühle Empfindung zu erhalten. Ist die Haut feucht und der Luftstrom sehr stark, so kann sogar ein starkes Kältegefühl entstehen. Jede niedere Lufttemperatur wird aus demselben Grunde um so leichter, jede hohe um so schwerer ertragen, je ruhiger die Luft ist.

Die Berührung der bei einer Zimmertemperatur von beiläufig 16—18° adaptirten Hand mit einem festen oder flüssigen Körper, welcher dieselbe Temperatur hat, wie die Zimmerluft, führt fast immer das Gefühl der Kälte oder Kühle herbei, weil feste und flüssige Körper der Haut die Wärme rascher entziehen, als die Luft. Man tauche die Hand in Oel, Wasser oder Quecksilber von Zimmertemperatur, und man wird im Oel schwache, im Wasser stärkere Kühle, im Quecksilber aber Kälte fühlen. Tuch, Leder, Papier, Holz, Glas, Porzellan von derselben Temperatur fühlen sich deutlich kühl an, besonders, wenn man die ganze Handfläche auflegt, und zwar um so kühler, je glätter sie sind. Glatte Körper erzeugen unter den genannten Umständen eine deutlichere Empfindung der Kühle, weil sie mit der Haut in innigere Berührung kommen als rauhe Flächen, die nur mit ihren Vorsprüngen die Haut berühren, während im Uebrigen die Haut mit der zwischen diesen Vorsprüngen befindlichen Luft in Berührung bleibt. Da ferner, wie schon E. H. Weber hervorhob, die Deutlichkeit oder Intensität einer Temperaturempfindung um so grösser ist, je grösser die betheiligte Hautfläche, so genügt es in den erwähnten Fällen oft nicht, den festen oder flüssigen Körper nur mit einem Finger zu berühren, um die Kühle deutlich zu fühlen, sondern man muss die ganze Hand auflegen.

Da das Wärmeentziehungsvermögen[1] der genannten Substanzen ein verschiedenes ist, so ist auch, trotz gleicher Temperatur und sonst gleichen Bedingungen, die Herabsetzung der Eigentemperatur des thermischen Apparats eine verschieden grosse, und deshalb die Empfindung der Kühle verschieden deutlich. Am stärksten entziehen die Metalle der Haut die Wärme, und deshalb fühlen sich dieselben kalt an, auch wenn sie gleich hoch oder sogar etwas höher temperirt sind, wie eine Luft, in welcher die Haut weder Wärme noch Kälte fühlt. Die Empfindung der Kühle wird immer dann entstehen

1 Das Wärmeentziehungsvermögen eines Körpers ist von seinem Leitungsvermögen, seiner specifischen Wärme und nach dem oben Gesagten auch von der Art seiner Oberfläche abhängig.

müssen, wenn jene Körper trotz ihrer höheren Temperatur doch der Haut mehr Wärme entziehen, als die minder warme Luft. Denn die Wärmeentziehung wächst einerseits mit der Temperaturdifferenz zwischen der Epidermis und dem berührenden Medium, anderseits mit dem Wärmeentziehungsvermögen des letzteren. Es kann also trotz kleinerer Temperaturdifferenz doch die Wärmeentziehung stärker sein.

Für jeden festen oder flüssigen Körper wird es ferner eine Temperatur geben müssen, bei welcher derselbe der Haut genau ebenso viel Wärme in der Zeiteinheit entzieht, als zuvor die Luft, in welcher die Haut auf dem Nullpunkte der Temperaturempfindung war. Diese Temperatur des festen oder flüssigen Körpers wird sich derjenigen der Epidermis um so mehr nähern, je stärker das Wärmeentziehungsvermögen der bezüglichen Substanz ist. Nimmt man drei Flüssigkeiten, deren Wärmeentziehungsvermögen verschieden ist, wie z. B. Oel, Wasser und Quecksilber, und bringt jede dieser Flüssigkeiten auf diejenige Temperatur, bei welcher der eingetauchte Finger weder Wärme noch Kälte empfindet, weil in der Flüssigkeit die Wärmeabgabe von der Haut ebenso gross ist als zuvor in der Luft, so ergibt sich, dass das Quecksilber dabei eine höhere Temperatur hat, als das Wasser, und dieses wieder eine höhere, als das Oel.

Die Temperatur eines Quecksilbers, welches beim Eintauchen eines Fingers weder warm noch kühl erscheint, kommt jedenfalls der Temperatur der Epidermis sehr nahe; denn wäre sie auch nur ein wenig höher, so würde das gut leitende Quecksilber die Temperatur der Haut sehr bald steigern und Wärmeempfindung herbeiführen, wäre sie irgend erheblich tiefer, so würde das Quecksilber der Haut mehr Wärme entziehen, als zuvor die schlecht leitende Luft, die Haut sich also abkühlen und das Gefühl der Kühle entstehen müssen. Man kann also durch den beschriebenen Versuch die Eigentemperatur der Epidermis annähernd bestimmen.

Bei einer Zimmertemperatur von 17—19° fand Hering die fragliche Temperatur des Quecksilbers in zahlreichen Versuchen zwischen 25 und 31° C. Dabei zeigte sich, dass die verschiedenen Finger derselben Hand, obwohl sie sich Stunden lang unter ganz gleichen Verhältnissen befunden hatten, in demselben Quecksilber ganz verschiedene Empfindungen gaben. So empfand öfters der Daumen und Zeigefinger in demselben Quecksilber schwache Kühle, in welchem der Mittelfinger weder Wärme noch Kälte und der kleine Finger schwache Wärme empfand. Dies war beispielsweise einmal der Fall bei 18° Zimmertemperatur und 26.7° Quecksilbertemperatur. Damit stimmt überein, dass man öfters am kleinen und vierten Finger sehr schwache Kühle bei einer Zimmertemperatur empfindet, die

an der übrigen Hand noch gar keine Temperaturempfindung hervorruft, und dass diese beiden Finger sich öfters kühl anfühlen, wenn man sie mit der andern Hand anfasst, während dies bei den übrigen Fingern nicht der Fall ist.

Oel, welches so temperirt ist, dass es weder Wärme- noch Kälteempfindung giebt, fühlt man beim langsamen Eintauchen gar nicht, weil der Druck, den es dabei auf die Haut ausübt, zu schwach ist. Quecksilber dagegen giebt unter analogen Bedingungen eine deutliche Druckempfindung.

Ist uns eine Hautstelle gegeben, welche für die Bedingungen der Wärme-Zufuhr und Abfuhr, unter denen sie sich befindet, eben vollkommen adaptirt ist und also weder Kühle noch Wärme fühlt, und empfindet diese Hautstelle bei Berührung mit einem andern Medium gleichfalls weder Wärme noch Kühle, weil dasselbe der Haut nur ebenso viel Wärme in derselben Zeit entzieht, als ihr zuvor entzogen wurde, so nennen wir die Temperatur des neuen Mediums die **adäquate Temperatur** desselben.

Hat also ein Körper in Bezug auf die berührte Hautstelle die adäquate Temperatur, so fühlt er sich weder kalt noch warm an, hat er eine höhere, so scheint er warm, im entgegengesetzten Falle kalt, um so deutlicher, je mehr seine wirkliche Temperatur von der adäquaten abweicht.

Da die Grösse der Wärmeabgabe auch bei vollständiger Adaptation an verschiedenen Hautstellen eine verschiedene und sogar an derselben Hautstelle keineswegs immer dieselbe ist, so ist auch die adäquate Temperatur für eine und dieselbe Substanz und in Bezug auf eine und dieselbe Hautstelle nicht immer dieselbe. Man muss sie aber in jedem bestimmten Einzelfalle kennen, wenn man an einer Hautstelle die Feinheit des Temperatursinnes messen will. (s. u.)

Die Empfindung der Kühle oder Kälte tritt auch ohne Berührung eines kalten Körpers ein, wenn derselbe eine Steigerung des Wärmeverlustes der Haut durch Strahlung bedingt, daher wir z. B. in einem Zimmer, dessen Lufttemperatur relativ hoch, dessen Wände aber noch sehr kalt sind, doch frieren können.

Wenn die innere Wärmezufuhr zur Haut sich mindert, wie z. B. bei Gefässcontraction, so kann die Temperatur des thermischen Apparates ebenfalls negativ werden. Hierauf pflegt man das Kältegefühl beim Fieberanfall zu beziehen. Es ist bemerkenswerth, dass die Minderung der innern Wärmezufuhr mittelbar auch eine Minderung der Wärmeabfuhr bedingt, und dass also hier trotz einer Abnahme des von Innen nach Aussen gehenden Wärmestromes die Empfindung der Kälte eintritt.

IV. Die Verschiebung des physiologischen Nullpunktes.

Es wurde schon oben angegeben, dass selbst für eine und dieselbe Hautstelle die neutrale Eigentemperatur des thermischen Apparates nicht immer dieselbe ist, sich vielmehr der Nullpunkt der Temperaturempfindung in Folge der Adaptation auf der objectiven Scala der Eigentemperaturen jenes Apparates gleichsam verschieben kann.

Diese Verschiebung erfolgt ziemlich rasch und führt zu einer Reihe von Erscheinungen, welche man auf veränderte Erregbarkeit zu beziehen und als Ermüdungs- und Contrasterscheinungen zu bezeichnen pflegt.

Man bestimme für eine beliebige Hautstelle, z. B. einen Finger, die adäquate Temperatur des Quecksilbers und stelle zwei Quecksilbergefässe nebeneinander, deren eines Quecksilber von dieser adäquaten, das andere solches von einer wenige Grade höhern oder tiefern Temperatur enthält. Taucht man den Finger in letzteres, so fühlt man anfangs deutlich Wärme oder Kühle, sehr bald aber lässt die Deutlichkeit der Empfindung nach. Taucht man jetzt einen zweiten Finger ein, so erhält derselbe wieder eine deutliche Temperaturempfindung.

Nehmen wir an, das zweite Quecksilber sei etwas kälter gewesen als das erste, so wird beim Eintauchen des Fingers in Folge des etwas gesteigerten Wärmeabflusses die Temperatur des thermischen Apparates zunächst sinken, anfangs schneller, dann langsamer, schliesslich aber wird sich ein neues Gleichgewicht zwischen der Wärmezufuhr und dem Wärmeabflusse bilden und die Eigentemperatur des thermischen Apparates wieder constant werden, aber immer niedriger bleiben müssen, als vorher.

Wir müssten demnach, so scheint es, anfangs eine zunehmende und schliesslich constant bleibende Empfindung von Kühle haben. Dies ist aber nicht der Fall, weil bei jeder andauernden Wärme- oder Kälteempfindung die Nullpunktstemperatur des thermischen Apparates sich ersteren Falls etwas nach oben, letzteren Falls etwas nach unten verschiebt, um so schneller und um so mehr, je stärker die Wärme- oder Kälteempfindung ist. Es tritt also eine rasche, wenn auch unvollständige Adaptation des thermischen Apparates für seine neue Eigentemperatur ein, in ähnlicher Weise, wie sich das Auge rasch für verschiedene Lichtstärken adaptirt.

Würde die Eigentemperatur des thermischen Apparates in Folge des Eintauchens in das Quecksilber bis zu einem gewissen Grade

negativ, so wird diese Negativität und entsprechend die Deutlichkeit der kühlen Empfindung um so geringer, je mehr in Folge der beginnenden Adaptation der Nullpunkt des thermischen Apparates herabsteigt. Dauert die schwach negative Temperatur des letzteren sehr lange an, so erfolgt, wie schon oben auseinandergesetzt wurde, die vollständige Adaptation für dieselbe, d. h. der Nullpunkt der Empfindung rückt langsam soweit hinab, dass er endlich mit der neuen Eigentemperatur wieder zusammenfällt. Damit hört nun auch die Empfindung der Kühle völlig auf. In ganz entsprechender Weise verhält es sich beim Eintauchen des Fingers in ein Quecksilber, dessen Temperatur etwas über der adäquaten Temperatur liegt. Es kommt auch hier sehr bald eine unvollständige Adaptation des thermischen Apparates für seine höher gewordene Eigentemperatur zu Stande, wodurch die Positivität derselben und damit zugleich die anfängliche Wärmeempfindung wieder gemindert wird.

Hat sich in Folge des Bestehens einer Wärme- oder Kälte-Empfindung die Nullpunktstemperatur verändert, so kann auch die zuvor adäquat gewesene Temperatur irgend eines Mediums dies nicht ferner sein. Haben wir also z. B. den Finger für einige Zeit in das Quecksilber getaucht, dessen Temperatur etwas über der adäquaten lag, ist in Folge dessen die Nullpunktstemperatur eine etwas höhere geworden, und bringen wir nun den Finger in das erste Quecksilber zurück, welches zuvor adäquat temperirt war und sich weder kühl noch warm anfühlte, so giebt dieses jetzt die Empfindung der Kühle. Wir haben hier also eine sogenannte Contrastempfindung.

Um derartige Contrastempfindungen zu demonstriren, ist es am zweckmässigsten, ein Gefäss mit Quecksilber oder Wasser von annähernd adäquater Temperatur zu füllen, dann rechts und links je ein anderes Gefäss mit derselben Flüssigkeit aufzustellen, dessen Temperatur einerseits viel höher, anderseits viel tiefer ist als die adäquate. Man lässt nun die rechte und linke Hand oder auch nur je einen Finger derselben in eines dieser Gefässe für einige Zeit eintauchen und dann beide Hände in das Mittelgefäss bringen. Die Hand, welche anfangs in der kälteren Flüssigkeit war, fühlt nun Wärme, die andere Kälte, obwohl beide sich in derselben Flüssigkeit befinden, welche kurz vorher keiner Hand merklich kalt oder warm erschien.

Aus der unvollständigen Adaptation oder Verschiebung des Nullpunktes in Folge andauernder Wärme- oder Kälteempfindung erklären sich auch folgende schon von WEBER angeführte Thatsachen: Taucht man die Hand 1 Minute in Wasser von 12,5° C. und dann in ein

solches von 18° C., so hat man im letzteren einige Sekunden lang das Gefühl der Wärme, obwohl solches Wasser, wenn man die Hand gleich anfangs hinein gebracht hätte, die Empfindung der Kühle gemacht haben würde. „Tauchen wir die eine Hand in ein mässig kaltes Wasser unter, während wir die andere wiederholt, aber nur auf einen Augenblick eintauchen, so glauben wir in der letzteren Hand die Empfindung eines höheren Kältegrades zu haben, als in der ersteren, und doch sinkt die Temperatur in der Haut der ersten Hand tiefer als in der letzteren.“ —

Es kommt häufig vor, dass ein Körper, der sich anfangs kühl anfühlte, bei längerer Dauer der Berührung die Empfindung der Wärme giebt, und auch der umgekehrte Fall kann eintreten, dass ein anfangs warm scheinender Körper weiterhin die Empfindung der Kälte erzeugt. Legen wir die auf dem Nullpunkte der Empfindung befindliche Hand an einen schlechten Wärmeleiter, wie z. B. Wachstaffet von Zimmertemperatur, so fühlt sich derselbe, wie oben erörtert wurde, anfangs kühl an, bald aber verschwindet die Kühle und macht einer deutlichen, bis zu einem gewissen Grade wachsenden und lange anhaltenden Wärmeempfindung Platz. Die anfänglich kühle Empfindung ist oben erklärt worden. Dass nachher Wärme empfunden wird, erklärt sich daraus, dass die von der Haut abgegebene Wärme sich in dem schlechten Wärmeleiter aufstaut, denselben zunehmend höher temperirt und dadurch eine positive Temperatur des thermischen Apparates erzeugt, dessen Nullpunkt sich überdies im Anfange etwas nach unten verschoben hatte.

Bei dem oben beschriebenen Versuche WEBER's zeigte sich, dass eine Hand, welche eine Minute lang in Wasser von 12,5° C. getaucht war, nachher in Wasser von 18° C. gebracht Wärme empfand. Diese Wärmeempfindung weicht aber, wenn die Hand eingetaucht bleibt, bald wieder einem Gefühl von Kühle. Im Wasser von 12,5° war der thermische Apparat abgekühlt worden, und zugleich hatte sich die Nullpunktstemperatur desselben etwas nach unten verschoben. Im Wasser von 18° aber trat in Folge der relativ geminderten Wärmeabgabe wieder eine mässige Steigerung der Temperatur des thermischen Apparates ein, so dass dieselbe (wegen der vorhergegangenen Verschiebung des Nullpunktes der Empfindung) sogar etwas positiv werden konnte. Da aber im Wasser von 18° die Wärmeabgabe immerhin viel grösser ist, als in der Luft, so muss sehr bald der vorübergehenden Erhöhung der Temperatur des thermischen Apparates wieder eine Senkung derselben folgen, weil die Abkühlung der Haut bis zu einem gewissen Grade immer weiter in die Tiefe greift

und immer stärker wird. Dabei ist auch zu bedenken, dass die Epidermis im Wasser allmählich mehr und mehr durchfeuchtet und somit ein immer besserer Wärmeleiter wird. Analoge Bedingungen sind gegeben, wenn wir nach der, durch die Entkleidung bedingten Abkühlung in ein mässigwarmes Bad steigen; wir haben dann anfangs das Gefühl deutlicher Wärme, fangen aber nach einiger Zeit an zu frieren, auch wenn die Temperatur des Wassers constant geblieben ist. Allerdings kommen hierbei noch anderweite Umstände in Betracht, indessen passt obige Auseinandersetzung mit der nöthigen Einschränkung auch für diesen Fall.

Wegen der im Wasser eintretenden Aufquellung der Epidermis erscheint das Experimentiren mit dieser Flüssigkeit überhaupt nicht zweckmässig. Für die meisten Versuche dürfte das Quecksilber am geeignetsten sein, vorausgesetzt, dass es in grossen Quantitäten benutzt wird. Denn kleine Mengen ändern in Folge der Wärmeabgabe seitens der Haut zu rasch ihre Temperatur.

Die hier beschriebenen Thatsachen waren es wohl besonders, welche E. H. WEBER zu der Vermuthung veranlassten, dass nicht die jeweilige Temperatur des thermischen Apparats, sondern vielmehr der Akt des Steigens oder Fallens seiner Eigentemperatur die wesentliche Ursache der Wärme- oder Kälteempfindung sei. WEBER führt jedoch schon selbst einen Versuch an, welcher dieser Ansicht widerspricht. „Wenn man einen Theil der Haut des Gesichtes z. B. die Stirn mit einem 2,5° C. kalten Metallstabe einige Zeit z. B. 30 Secunden lang in Berührung bringt und denselben dann entfernt, so fühlt man ungefähr 20 Secunden lang die Kälte in jenem Theile der Haut.“ Während dieser Zeit steigt wieder die Temperatur des thermischen Apparates in der Haut, und wir müssten also nach WEBER's Annahme die Empfindung der Wärme haben. WEBER hat zwar versucht diesen Widerspruch zu lösen, indess hat HERING (l. c.) das Ungenügende dieser Lösung auseinandergesetzt.

Schon früher aber hat VIERORDT (l. c.) die WEBER'sche Ansicht als entschieden unhaltbar dargethan, und auch FECHNER[1] hat Bedenken gegen dieselbe erhoben. „Drückt man“, sagt VIERORDT, „bei mittler Zimmerwärme ein kaltes Metallstück (von — 2 bis — 8°) etwa 20 Secunden hindurch gegen den Handteller, so fällt die Temperatur des letzteren um 5 bis 8° C. Man hat zugleich eine schmerzhafte Empfindung. Nach Entfernung des Metalls erwärmt sich die erkältete Haut, anfangs rasch, später langsamer, doch so, dass selbst nach 5 bis 8 Minuten die Haut noch nicht ihre frühere Temperatur erreicht hat. Während dieser ganzen Zeit des objectiven Temperatursteigens der Haut hat man deutliches Kältegefühl. Bringt man umgekehrt ein recht warmes (übrigens nicht schmerzendes) Metallstück mit der Haut kurze Zeit in Berührung, so steigt die Hautwärme um 1 bis 2°. Kühlt sich, nach Entfernung des warmen Körpers die Haut langsam ab, so hat man minutenlang (7′ und darüber) ein Gefühl von Wärme.“

---

1 FECHNER, l. c. S. 201.

„Wir haben anhaltendes Temperaturgefühl, so lange wir in der Nähe eines geheizten Ofens verweilen, oder eine Hautstelle mit einem gehörig warmen oder kalten Körper in Berührung bringen", obwohl doch hier die Eigenwärme des thermischen Apparates nicht fortwährend steigen oder fallen kann, sondern schon constant werden muss, während die Temperaturempfindung noch fortdauert.

Der WEBER'sche Satz muss selbstverständlich für sehr viele Fälle zutreffen, weil eine negative oder positive Temperatur des thermischen Apparats, wenn derselbe zuvor neutral temperirt war, nur durch den Akt des Steigens oder Fallens seiner Temperatur möglich wird. Für eine Theorie des Temperatursinnes aber war es von der höchsten Bedeutung, festzustellen, ob die jeweilige Positivität und Negativität der Eigentemperatur des thermischen Apparats das Bestimmende für die Temperaturempfindung ist oder aber nur der Akt der Veränderung dieser Temperatur.

V. Die Bedingungen der Stärke der Temperaturempfindung.

Die Stärke der Temperaturempfindung hängt, wie schon gesagt, *zunächst davon ab, um wie viel die jeweilige Eigentemperatur des thermischen Apparates in positiver oder negativer Richtung von der Nullpunktstemperatur abweicht.* Ein bestimmtes Gesetz aber, nach welchem die Stärke der Empfindung mit der Grösse dieser Abweichung wächst, lässt sich nicht angeben. Gewöhnlich nimmt man mit FECHNER an, dass eine um so grössere Steigerung oder Senkung der Hauttemperatur nothwendig ist, um einen gleich starken Empfindungszuwuchs zu geben, je höher oder tiefer die Hauttemperatur bereits ist; denn zahlreiche Versuche haben als wahrscheinlich ergeben, dass das Unterscheidungsvermögen für Temperaturdifferenzen berührter Körper um so geringer wird, je mehr die absolute Höhe oder Tiefe der zu unterscheidenden Temperaturen von der mittlen Hauttemperatur abliegt (s. u.).

Es begreift sich, dass der genauen Feststellung eines solchen Gesetzes ausserordentliche Schwierigkeiten entgegenstehen, weil es erstens nicht möglich ist, die jeweilige Temperatur des thermischen Apparates genau zu messen, und weil anderseits die Nullpunktstemperatur dieses Apparates variabel ist und sich während des Versuches ändert. Wir müssten nicht blos die jeweilige Temperatur des thermischen Apparats, sondern die positive oder negative Abweichung derselben von der Nullpunktstemperatur kennen, um das Gesetz finden zu können, nach welchem die Unterschiedsempfindlichkeit mit der Grösse dieser Abweichungen sich ändert. Wäre aber dieses Gesetz gefunden, so würde sich daraus ein Gesetz, nach welchem die Intensität der Temperaturempfindung mit der positiven oder negativen Grösse der Temperatur des thermischen Apparats wächst, auch nur auf Grund einer psychophysischen Hypothese ableiten lassen.

E. H. WEBER hat darauf aufmerksam gemacht, „dass auch die Grösse des Stücks der Haut, welches gleichzeitig von einem warmen oder kalten Körper afficirt wird, einen Einfluss auf die Temperaturempfindung hat. Wenn man in dieselbe warme oder kalte Flüssigkeit den Zeigefinger der einen Hand und die ganze andere Hand gleichzeitig eintaucht, so ist die Empfindung in beiden Gliedern nicht dieselbe, sondern in der ganzen Hand heftiger. Diese grössere Stärke des Eindrucks, die daher rührt, dass gleichzeitig derselbe Eindruck auf viel mehr empfindliche Punkte gemacht wird, verwechselt man mit derjenigen Stärke des Eindrucks, die unter anderen Umständen dadurch entsteht, dass die Flüssigkeit eine höhere oder eine niedere Temperatur hat. Es fühlt sich daher kaltes Wasser mit der ganzen Hand kälter, warmes Wasser mit derselben wärmer an, als mit einem einzelnen Finger, ungeachtet man doch weiss, dass man beide Glieder in dasselbe Wasser eintaucht. Weiss man das nicht, indem man die beiden Glieder in Gefässe mit Wasser eintaucht, deren Temperatur man nicht kennt, so wird man verleitet, Wasser, welches $+ 29^1/_2{}^0$ R. warm ist, und in das man die ganze Hand eintaucht, für wärmer zu halten als Wasser, das $+ 32^0$ R. warm ist, und in das man nur einen Finger eintaucht, und in dieselbe Täuschung wird man versetzt, wenn man Wasser von $+ 17^0$ und $+ 19^0$ R. auf dieselbe Weise untersucht, wo uns dann das Wasser, welches eine Temperatur von $+ 19^0$ R. hat, und in das wir die ganze Hand eintauchen, kälter zu sein scheint als das andere, ungeachtet letzteres um 2^0 R. minder warm ist.“

Die Verschiedenheiten der Empfindlichkeit für Temperatureindrücke an verschiedenen Hautstellen hat ebenfalls zuerst E. H. WEBER untersucht. Er erklärt dieselben theils aus der verschiedenen Dicke der Epidermis [1], theils aus Verschiedenheiten des nervösen Apparates. Doch kommen hier auch die Verschiedenheiten der Eigentemperatur der Haut und insbesondere des thermischen Apparates mit in Betracht, wenn man die Untersuchungsmethode WEBER's anwendet. Derselbe benutzte theils Glasphiolen, die er mit Oel füllte, durch Eintauchen in warmes oder kaltes Wasser temperirte und dann auf die Haut aufsetzte, theils einen grossen Schlüssel, den er erwärmte oder erkältete, und mit dessen abgerundetem Ende er die Haut berührte.

Die Haut des Gesichtes schien WEBER alle anderen Theile an Empfindlichkeit zu übertreffen, insbesondere galt dies von den Augen-

---

1 Ueber das Wärmeleitungsvermögen der Epidermis sowie der Haut überhaupt vergl. KLUG, Ztschr. f. Biologie. X. S. 73. 1874.

lidern und den Backen. Erstere waren am äusseren und inneren Augenwinkel empfindlicher als in der Mitte. Die Lippen standen den Lidern und Backen nach und waren auf den Seitentheilen empfindlicher, als in der Mitte, während, wie Weber hervorhebt, der Ortsinn an den Lippen viel feiner ist, als an den Backen, und auf der Mitte feiner, als an den Seitentheilen. Am Halse war die Empfindlichkeit für Temperatureindrücke viel geringer, als im Gesichte. Die Haut in der Gegend der Medianlinie des Gesichtes, der Brust, des Bauches und des Rückens war viel weniger empfindlich als die seitlich angrenzenden Theile, die Empfindlichkeit an der Nasenspitze viel geringer als an den Seiten der Nase, viel grösser an den Nasenflügeln und am grössten am unteren Rand des äusseren Theiles derselben. Dicht vor dem Tragus des Ohres war die Empfindlichkeit viel grösser als an den Lippen, über dem unteren Rand der Kinnlade grösser als am Kinn, in der Schläfengegend über dem Jochbogen grösser als in der Mitte der Stirn über der Glabella. Die innere Haut der Nase zeigte eine sehr geringe Empfindlichkeit, die Haut des Gehörganges dagegen eine grosse. „Den Anfang des ersten Gliedes des Zeigefingers in der Hohlhand, bis zu welchem die Spalte zwischen den Fingern nicht reicht“ fand Weber empfindlicher als die entsprechenden Theile am dritten, vierten und fünften Finger, den Ballen des Daumens empfindlicher als den des kleinen Fingers, die Gegend über dem Olecranon empfindlicher als die Haut auf der Mitte des M. triceps oder biceps, die Gegend des Trochanter empfindlicher als die der Crista ilei.

Nothnagel[1] hat, ebenfalls mit einem kalten oder warmen Eisen, die Versuche Weber's an verschiedenen Personen und an sich selbst wiederholt und Folgendes darüber mitgetheilt: „Die empfindlichsten Partieen des Gesichtes, welche nur noch durch die Seitenwandungen des Rumpfes erreicht werden, sind die Lider, die Wangen und die Schläfen, die stumpfeste ist der Nasenrücken. Der Rumpf ist stumpfer als das Gesicht. Die vordere Thoraxwand ist unten meist empfindlicher als oben, der Rücken unempfindlicher als die vordere Wand des Rumpfes. Die Medianlinie ist im Gesichte wie am Rumpfe stumpfer als die seitlichen Partieen, nur in einem Falle waren sie auf dem Rücken gleich, nie zeigte sich das umgekehrte Verhältniss. Das Sternum ist stumpfer als die Linea alba. Hand und Finger sind meist gleich empfindlich, der Vorderarm empfindlicher als die Hand, der Oberarm empfindlicher als der Vorderarm.

1 Nothnagel, Deutsches Arch. f. klin. Med. II. S. 284. 1866.

Dasselbe Verhältniss findet sich an den unteren Extremitäten. Die entsprechenden Partieen sind am Bein stumpfer als am Arm; selten nur ist das Verhältniss beim Fuss- und Handrücken umgekehrt, sehr selten auch sind Hand und Fuss, Unterarm und Unterschenkel gleich empfindlich. Das Verhalten der einzelnen Flächen an den verschiedenen Extremitäten ist kein constantes, doch meist erschien die Streckseite am Oberarm und Oberschenkel empfindlicher als die Beugeseite, am Unterarm und Unterschenkel umgekehrt. Die Dorsalfläche der Finger und Hand war empfindlicher als die Volarfläche, nur in einem Falle waren sie gleich."

Da die Versuche Weber's und Nothnagel's ohne Berücksichtigung der adäquaten Temperatur angestellt wurden, und nur die „Stärke des Eindrucks" als Maasstab der Vergleichung diente, so machen sie begreiflicher Weise keinen Anspruch auf grosse Genauigkeit.

Taucht man die Hand in kaltes oder warmes Wasser, so erhält man am Rücken der Hand die Temperaturempfindung eher, als an der Volarseite, weil an dieser die Epidermis dicker ist (Weber). Taucht man beide Hände in ein tiefes Gefäss mit Wasser, sodass die Hohlhandflächen einander zugekehrt sind, ohne einander zu berühren, so empfindet man nach Weber, wenn die Wassertemperatur z. B. 1—2° R. beträgt, „anfangs die Kälte stärker am Rücken beider Hände, als an der Hohlhand, weil die Oberhaut am Rücken der Hände viel dünner ist. Nach 8 Sekunden ungefähr fängt aber die Empfindung der Kälte an, in der Hohlhand überwiegend zu werden und dieselbe wächst in dem Maasse, dass es bald ganz unzweifelhaft ist, dass dasselbe Wasser in der Hohlhand eine beträchtlich stärkere Kälteempfindung hervorruft, als auf dem Rücken derselben. Dasselbe zeigt sich, wenn man warmes Wasser anwendet, hinsichtlich der Empfindung der Wärme." Weber schliesst hieraus auf eine „grössere Vollkommenheit des Temperatursinnes" der Hohlhand im Vergleich zum Handrücken, und erklärt dieselbe aus der grösseren Zahl der Nervenenden.

VI. Die Feinheit des Temperatursinns.

Bestimmungen der kleinsten noch wahrnehmbaren Temperaturdifferenzen zweier sonst gleicher Körper oder Flüssigkeiten sind von E. H. Weber, Fechner[1], Lindemann[2], Alsberg[3] und Nothnagel gemacht worden. Die Ergebnisse der einzelnen Forscher sind leider nicht recht vergleichbar, weil die Versuchsbedingungen z. Th. verschiedene waren.

1 Fechner, Elemente d. Psychophysik. S. 201. 1860.
2 Lindemann, De sensu caloris. Halis 1857. Dissertation.
3 Alsberg, Untersuch. üb. d. Raum- u. Temperatursinn. Dissert. Marburg 1863.

Aus theoretischen Gründen ist es wahrscheinlich, dass die kleinsten Temperaturunterschiede zweier sonst gleicher Körper dann erkannt werden, wenn die zu unterscheidenden Temperaturen der (in Bezug auf die untersuchte und zuvor adaptirte Hautstelle) adäquaten Temperatur der berührten Substanz möglichst nahe kommen, und zwar derart, dass die eine nach unten, die andere nach oben ein wenig von der adäquaten Temperatur abweicht. Hiermit stehen die Ergebnisse von Nothnagel einigermassen in Einklang, welcher das feinste Unterscheidungsvermögen bei Temperaturen des benützten Wassers fand, welche zwischen 27—33 ° C. lagen, wobei zu bemerken ist, dass er einen und denselben Finger immer bis zu derselben Tiefe abwechselnd in die beiden Wassergefässe eintauchte. Fechner hatte bei dieser Methode die grösste Unterschiedsempfindlichkeit zwischen 10—20 ° R. gefunden, und zwar war dieselbe hier so gross, *dass die eben merklichen Temperaturunterschiede mittels des benützten Thermometers nicht mehr gemessen werden konnten, obwohl dasselbe sehr wohl gestattete, den 20sten Theil eines Grades R. abzuschätzen.* Es ist zu erwähnen, dass Fechner vor Beginn der Vergleichung die Finger so lange in das eine Gefäss tauchte, „bis sie eine constante Temperatur hatten“, so dass also jedenfalls Zeit zu einer gewissen Adaptation gegeben war.

Lindemann fand nach der Methode der mittlern Fehler und beim Eintauchen der Hand bis an die Handwurzel die grösste Unterschiedsempfindlichkeit zwischen 26 — 39 ° C. Alsberg endlich folgert aus seinen Versuchen, dass die grösste Empfindlichkeit seines Hautsinnes für Temperaturdifferenzen des Wassers zwischen 35 und 39 ° C. bestehe.

Fechner sowohl, als Lindemann und Alsberg geben an, dass bei Temperaturen, welche unterhalb der genannten günstigsten Temperaturintervalle liegen, die Unterschiedsempfindlichkeit viel rascher mit der Tiefe der absoluten Temperaturen abnehme, als bei Temperaturen oberhalb jenes Intervalls mit der Höhe der absoluten Temperaturen.

Um beurtheilen zu können, inwieweit die Ergebnisse der verschiedenen Forscher sich in Einklang bringen lassen, müsste man wissen, wie hoch die adäquate Wassertemperatur für die benützten Finger war. Es gibt Menschen, die fast immer sehr kühle oder gar kalte, andere, die gewöhnlich warme Hände haben, ohne dass sie selbst Kälte oder Wärme in der Hand fühlen. Selbstverständlich kann demnach auch die adäquate Wassertemperatur für die Finger verschiedener Personen sehr verschieden sein.

Die Grösse der kleinsten noch wahrnehmbaren Temperaturdifferenz muss mit von der Art der Flüssigkeit abhängen in welche Finger oder Hand eingetaucht werden; Quecksilber wird andere Werthe geben als Wasser, dieses wieder andere als Oel. Da FECHNER fand, dass die kleinsten noch wahrnehmbaren Unterschiede der Wassertemperaturen zu klein sind, als dass man sie mit Thermometern messen könnte, welche $^1/_{20}{}^0$ R. abzulesen gestatten, so wird es gut sein, bei vergleichenden Versuchen eine Flüssigkeit anzuwenden, welche schlechter als Wasser leitet. Die Verfeinerung der thermometrischen Bestimmung würde voraussichtlich wenig nützen, weil kleine Temperaturdifferenzen der einzelnen Theile einer Flüssigkeit schwer zu vermeiden sind. Wasser hat überdies den Nachtheil, dass es die Epidermis aufquellt und ihr Leitungsvermögen ändert.

Dass es bei Temperaturvergleichungen am zweckmässigsten ist, eine und dieselbe Hautstelle nacheinander mit den zu vergleichenden Körpern in Berührung zu bringen, fand schon E. H. WEBER. Taucht man zwei Finger derselben Hand gleichzeitig in zwei nebeneinanderstehende Wassergefässe, so ist die Vergleichung sehr gestört. Besser gelingt sie schon, wenn man zwei entsprechende Finger der rechten und linken Hand benützt. Alle solche Vergleichungen mit verschiedenen Hautstellen leiden überdies an dem Uebelstande, dass die adäquate Temperatur des Wassers für beide Hautstellen meist nicht dieselbe ist.

ALSBERG hat den Einfluss untersucht, welchen sogenannte Anämie und passive Hyperämie auf die Feinheit des Unterscheidungsvermögens für Temperaturdifferenzen hat. Er benützte dazu den Zeigefinger. Die Anämie wurde durch längeres Hochhalten der Hand, die Hyperämie durch Umlegen einer breiten Binde um die Mitte des Unterarmes erzielt. Während die Hyperämie das Unterscheidungsvermögen nicht wesentlich zu alteriren schien, zeigte sich bei Anämie eine deutliche Verfeinerung desselben.

Ueber den Einfluss dauernder Kälte und Hitze hat NOTHNAGEL einige Versuche angestellt. Legte er bei verschiedenen Personen einen Eisbeutel $^1/_2$—1 Stunde lang auf die Innenseite des Vorderarmes, so wurde an dieser Stelle Wärme und Kälte viel weniger intensiv empfunden, als am andern Arm. Während sonst an dieser Stelle 0.3 — 0.2 ^{0} C. Temperaturdifferenz zweier kleiner, sogleich zu beschreibender Apparate erkannt wurde, kam jetzt erst eine Differenz von 1—3 ^{0} zur Wahrnehmung. Wurde die Hand $^1/_2$—1 Stunde lang in Wasser von 42—45 ^{0} C. getaucht, so wurden erst Temperaturdifferenzen der Apparate von 0.4 — 0.3 ^{0} C. unterschieden, mit der andern Hand aber schon solche von 0.2—0.1 ^{0} C.

NOTHNAGEL tauchte den Ellbogen in Eiswasser, um den Nervus

ulnaris zu erkälten, und fand am kleinen Finger eine Abnahme des Unterscheidungsvermögens, jedoch nicht in dem Maasse, wie bei directer Einwirkung der Kälte auf die Nervenenden. Eine Steigerung des Unterscheidungsvermögens beobachtete NOTHNAGEL an Hautstellen, auf welchen durch Vesicantien die Epidermis entfernt worden war.

Die Verschiedenheiten der Feinheit des Temperatursinnes an den einzelnen Hautstellen wurden ebenfalls von NOTHNAGEL untersucht. Offenbar werden auch diese nicht blos von der Beschaffenheit des thermischen Apparates (Menge- und Erregbarkeitsverhältnisse der Nervenenden), sondern auch von der Dicke und Durchfeuchtung der Epidermis abhängen.

NOTHNAGEL bediente sich cylindrischer Holzgefässe von 2½" Höhe und 1½" Durchmesser, deren Boden aus einem Kupferblech von nur ¹/₁₀ Mm. Dicke bestand. Die hölzerne Wand war doppelt und der Zwischenraum mit Asche gefüllt. Der Innenraum der Gefässe wurde mit Wasser gefüllt, dessen Temperatur ein am Apparate selbst fixirtes Thermometer angab. Das Gefäss liess sich durch einen Holzdeckel schliessen und mittels eines seitlichen Handgriffes fassen. Zwei solche verschieden temperirte Gefässe wurden abwechselnd auf dieselbe Hautstelle gesetzt.

An verschiedenen Individuen und auch an sich selbst fand NOTHNAGEL bei dieser Methode folgende Werthe für die kleinste noch wahrnehmbare Temperaturdifferenz: „Auf dem Sternum 0,6° C., an der Brust oben aussen 0,4°, auf der Mitte des Oberbauches 0,5°, seitlich am Oberbauche 0,4°, auf der Mitte des Rückens 1,2°, seitlich am Rücken 0,9°, in der Hohlhand 0,5—0,4°, am Handrücken 0,3°, an der Streck- und Beugeseite sowohl des Ober- als des Unterarmes 0,2°, am Fussrücken 0,5—0,4°, an der Streckseite des Unterschenkels 0,7°, an der Wade 0,6°, an der Streck- und an der Beugeseite des Oberschenkels 0,5°, an der Wange 0,4—0,2°, an der Schläfe 04—,0,3°."

VII. Die Localisirung der Temperaturempfindungen.

Die Localisirung der Temperaturempfindungen findet derart statt, dass sowohl Wärme als Kälte immer in die Haut oder deren nächste Umgebung verlegt werden. Nie ist die Temperaturempfindung eine so entschieden flächenhafte oder so deutlich abgegrenzte, wie etwa die flächenhafte und scharf umgrenzte Gesichtsempfindung, welche von einer weissen oder farbigen Fläche erzeugt wird. Vielmehr hat die Temperaturempfindung, auch wenn sie wie gewöhnlich nach der Fläche ausgebreitet ist, immer zugleich etwas Raumhaftes und er-

streckt sich mehr oder weniger in die Tiefe oder über die Oberfläche der Haut hinaus in den umliegenden Raum. Letzteres ist besonders dann der Fall, wenn nicht gleichzeitige Tastempfindungen eine bestimmtere Localisirung der Temperaturempfindungen herbeiführen. So ist z. B. die Empfindung der Wärme mehr flächenhaft, wenn wir die Hand auf einen warmen Gegenstand legen, dagegen mehr raumhaft, wenn wir sie in warme Luft einbringen.

Den Ort eines Wärme strahlenden Körpers können wir auch blindlings oder im Finstern ungefähr bestimmen, wenn wir die Hand in verschiedenen Richtungen hin- und herbewegen und auf die dabei erfolgende Zu- und Abnahme der Wärmeempfindung achten (E. H. Weber). Doch wird dabei die Wärmeempfindung nicht an den Ort localisirt, an welchem wir uns den warmen Körper denken, sondern bleibt immer in der Umgebung der Hand.

Wenn wir zwei ungleich temperirte Hautflächen unseres Körpers mit einander in Berührung bringen, z. B. die kühle Hand auf die wärmere Stirn, oder beide verschieden temperirte Hände aneinander legen, so haben wir, wie E. H. Weber hervorhob, das Gefühl der Wärme und Kälte zugleich an derselben Stelle im Raume, und es ist oft schwer, sofort zu erkennen, welcher Theil der kühlere und welcher der wärmere ist. Weber hat ausführlich die Nebenumstände erörtert, von welchen es, abgesehen von der Richtung der Aufmerksamkeit und oft trotz derselben, abhängt, ob hierbei die Wärme eher und deutlicher gefühlt wird als die Kälte, oder umgekehrt.

Bringt man die stumpfen oder ebenen Enden eines kalten und eines warmen Stäbchens so nahe neben einander auf die Haut, dass die Verschiedenheit ihres Ortes nicht mehr wahrgenommen werden kann, so fühlt man, wie Czermak[1] angegeben und Klug[2] bestätigt hat, an einer und derselben Hautstelle Wärme und Kälte, ja es schien Czermak unter Umständen „ein Schwanken der Wahrnehmung, ähnlich dem Wettstreite der Sehfelder" einzutreten. Klug erhielt dabei den Eindruck, „als berührte die Haut nur einen Körper, welcher aber bald kalt, bald warm war". Betrug die Temperatur des einen Tasters 5 °, die des anderen 20—40 ° C., so schien es, als würde die Haut nur vom kalten Taster berührt.

Czermak hatte sich zu diesen Versuchen sehr kleiner Probirgläschen bedient, deren eines mit heissem Oel, das andere mit einer Kältemischung gefüllt war. Klug benützte einen kleinen, von Kronecker angegebenen, als Thermaesthesiometer benannten Apparat. Der-

1 Czermak, Sitzgsber. d. Wiener Acad. März 1855. S. 500.
2 Klug, Arb. d. physiol. Anstalt zu Leipzig. XI. S. 168. 1876.

selbe bestand aus einem neusilbernen Röhrchen, das nach unten durch eine kleine fingerhutförmige Kapsel von dünnem Silberblech abgeschlossen und durch eine bis nahe an diesen Boden reichende Längsscheidewand getheilt war. Jede der beiden Längshälften ging nach oben in ein schräg angesetztes Röhrchen über, so dass der ganze Apparat die Form eines Y hatte. Wurden die seitlichen Röhrchen mit Kautschukschläuchen verbunden, so konnte man Wasser von beliebiger Temperatur durch den Apparat strömen lassen, und dadurch seinen Boden verschieden temperiren.

Mit diesem Apparate suchte Klug auch festzustellen, ob das Maass des kleinsten Abstandes, welchen die beiden Taster haben mussten, um noch gesondert localisirt zu werden, mit von der Temperatur der Taster abhängig sei. Er brachte zu diesem Zwecke beide Taster auf gleiche Temperatur von 5°, 20° oder 50° C. und fand zunächst, dass bei 5° der Minimalabstand am kleinsten, bei 50° am grössten war, während sich bei 20° ein mittler Werth des Minimalabstandes ergab, der sich nicht änderte als Klug die Taster, statt auf 20°, auf 30 bis 40° brachte. Da eine Temperatur von 5° von der Hauttemperatur viel stärker abweicht, als eine Temperatur von 50°, höhere Temperaturen aber nicht angewandt werden können, weil sie schmerzhaft sind, so brachte Klug den Arm unter Wasser von 15° C., um seine Haut abzukühlen, und setzte die Taster, durch welche er Wasser von 55° oder von 5° leitete; unter dem Wasser auf die Haut. Hierbei ergab sich nun für die warmen Taster ein kleinerer Minimalabstand als für die kalten. Demnach nimmt, so folgert Klug, der Ortsinn an Feinheit zu, wenn der Temperaturunterschied zwischen den Tastern und der Haut im einen oder anderen Sinne wächst. Uebrigens waren die Unterschiede der Tasterdistanzen geringfügig und nicht grösser, als wie sie sich für Klug ergaben, wenn er die Taster bei einer mittlen Temperatur einmal sanft aufsetzte und das andere Mal aufdrückte. Auch hierbei fand sich eine Verfeinerung des Ortsinnes durch Steigerung der Druckempfindung, wie dort durch Steigerung der warmen oder kalten Temperaturempfindung.

Wenn Klug den einen Taster auf 50°, den andern auf 5° temperirte, so fand er den kleinsten Abstand der Taster bald eben so gross, bald etwas grösser als bei gleicher Temperatur beider Taster von 20°.

Schon vor Klug hat Rauber[1] analoge Versuche, jedoch nach einer andern Methode angestellt und vorläufige Mittheilung davon gemacht. Er

1 Rauber, Centralbl. f. d. med. Wiss. 1869. S. 273.

legte Holzplättchen mit je zwei Bohrlöchern auf die Haut und bestrahlte die Haut durch diese Löcher hindurch mit Wärme, so dass die Haut an zwei kleinen, bald mehr, bald weniger von einander abstehenden Stellen erwärmt wurde. Der Minimalabstand der Löcher ergab sich etwas grösser als bei Anwendung eines gewöhnlichen Doppeltasters, was RAUBER aber nur auf die Methode, nicht auf eine geminderte Feinheit des Ortsinnes bezieht.

Eine Theorie des Temperatursinnes hat HERING (l. c.) entwickelt. Er geht von der Annahme aus, dass beide Qualitäten der Temperaturempfindung durch einen und denselben Nervenapparat vermittelt werden, und begründet diese Annahme insbesondere durch die Thatsache, dass jeder Temperaturreiz welcher eine Temperaturempfindung erzeugt, in demselben Maasse als er die Empfindlichkeit des thermischen Apparates für die Reize gleicher Art herabsetzt, zugleich die Disposition zur Erzeugung der gegensätzlichen Empfindung erhöht und also die Erregbarkeit für die entgegengesetzten Temperaturreize steigert. Wollte man nun zwei verschiedene Apparate für die beiden Qualitäten der Temperaturempfindung annehmen, so müsste man sich dieselben in so inniger functioneller Beziehung denken, dass die Minderung der Erregbarkeit des einen immer eine genau entsprechende Mehrung der Erregbarkeit des andern herbeiführen würde. Daher ist es viel wahrscheinlicher, dass die beiden Qualitäten der Empfindung durch einen und denselben Apparat ausgelöst werden und zwar durch gegensätzliche Zustände desselben. Der Zustand des thermischen Apparats, bei welchem derselbe weder Wärme- noch Kälteempfindung auslöst, ist der neutrale oder Gleichgewichtszustand desselben, aus welchem er nach entgegengesetzten Richtungen heraus gebracht werden kann. Demnach schreibt HERING der nervösen Substanz des thermischen Apparats zwei verschiedene Erregbarkeiten zu, eine für die positiven, die andere für die negativen Eigentemperaturen, und zwei verschiedene Erregungszustände, deren einer der warmen, der andere der kalten Empfindung entspricht.

Aus seiner allgemeinen Theorie der Nervenfunction, welche sich auf die Annahme gegensätzlicher Processe in der nervösen Substanz gründet, deren einer der Assimilirung, der andere der Dissimilirung der Substanz entsprechen soll, deducirt HERING ferner die Erscheinung der Adaptation und des Contrastes im Bereiche des Temperatursinnes als eine nothwendige Folge des durch die Temperaturreize gestörten und bei andauerndem Reize sich allmählich wieder herstellenden Gleichgewichtes zwischen Assimilirung und Dissimilirung.

NACHTRAG

ZU BAND III. THEIL 1.

Ueber Irradiation.

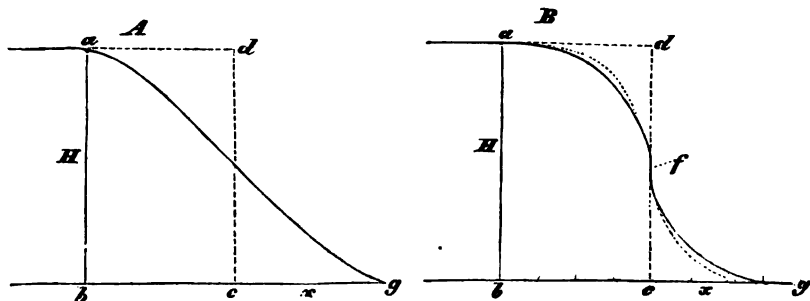
Im Anschlusse an das im VI. Capitel des I. Theils der Physiologie des Gesichtsorganes Besprochene sind noch einige Erscheinungen zu erörtern, welche ebenfalls dadurch bedingt sind, dass die von einem Aussenpunkte kommenden Strahlen sich nicht streng in einem Punkte der Netzhaut sammeln. Da dies auch dann gilt, wenn das Auge für die Entfernung des leuchtenden Punktes möglichst genau accommodirt ist, so folgt, dass sich auch in diesem Falle jeder Aussenpunkt auf der Netzhaut nicht als Punkt, sondern als eine kleine Fläche, jede Grenzlinie zweier verschieden heller Flächen nicht als Linie, sondern als ein verwaschener Streifen abbildet, in welchem sich die grössere Helligkeit der einen Fläche in die mindere Helligkeit der andern allmählich abstuft. Dieses durch Aberration der Lichtstrahlen erzeugte Zwischengebiet, welches im Netzhautbilde den scharfen Contur des Aussendinges vertritt, nennen wir das Aberrationsgebiet. Wir unterscheiden dasselbe vom Zerstreuungsgebiete, welches sich bildet, wenn das Auge mangelhaft accommodirt ist. Begreiflicherweise besteht zwischen beiden kein durchgreifender Unterschied, doch ist es für das Folgende wesentlich, beide zu trennen, weil die Zerstreuung sich durch genaue Accommodation beseitigen lässt, die Aberration aber auch dann noch fortbesteht.

Denken wir uns die Netzhaut als eine Ebene und auf jeden Punkt derselben eine Senkrechte aufgesetzt, deren Länge die Intensität der Bestrahlung des zugehörigen Netzhautpunktes darstellt, so giebt uns die Gesammtheit der oberen Endpunkte aller dieser Ordinaten eine Fläche, welche MACH[1] als die Lichtintensitätsfläche oder Lichtfläche bezeichnet hat, während er unter Empfindungsfläche die Fläche versteht, welche man erhält, wenn man die genannten Ordinaten denjenigen Helligkeiten proportional macht, mit welchen die entsprechenden Bildpunkte erscheinen.

---

1 MACH, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 2. Abth. LIV. 1866.

Setzen wir den Fall, dass die gerade Grenzlinie zwischen einer weissen und einer absolut dunklen Fläche sich auf der Netzhaut abbildet. Die Linie *bcg* (Fig. B) sei ein Durchschnitt der Netzhaut, welcher senkrecht zur Richtung des jener Grenzlinie entsprechenden Aberrationsstreifens geführt ist. Wäre das Netzhautbild der Grenzlinie absolut scharf, so würde dasselbe in *c* seinen Durchschnitt



haben, und das Bild der hellen Fläche in unveränderter objectiver Helligkeit bis zu diesem Punkte reichen, rechts von *c* aber die Netzhaut absolut dunkel sein. Stellt die Ordinate *ba* die Intensität der Bestrahlung vor, so würde demgemäss die Lichtfläche horizontal über *a* hinaus bis *d* verlaufen und hier senkrecht zur Abscisse nach *c* abfallen. In Wirklichkeit aber beginnt wegen der Aberration die Lichtfläche schon bei *a* zu fallen und senkt sich nur allmählich, so dass sie erst bei *g* zur Abscisse gelangt. Die Curve *afg* stellt den Durchschnitt der Lichtfläche nach Helmholtz dar unter der Voraussetzung, dass die Aberration nur eine chromatische und das Auge für die Strahlen mittler Brechbarkeit accommodirt ist. Genau lässt sich übrigens die Form der Lichtfläche im Aberrationsgebiete bis jetzt nicht entwickeln. Den Durchschnitt der Lichtfläche eines Zerstreuungsgebietes stellt nach Helmholtz die Curve *ag* in Fig. A dar.

Sowohl das Aberrations- als das Zerstreuungsgebiet bildet sich, wie man sieht, stets auf Kosten beider Flächen, und hieran ändert sich nichts Wesentliches, wenn die eine Fläche nicht absolut dunkel, sondern nur minder hell als die andre angenommen wird. Dann geht die Lichtfläche nicht bis zur Abscisse herab, sondern verläuft, nach ihrer Absenkung im Aberrationsgebiete, parallel zur Abscissenebene weiter in einem, der Helligkeit der minder hellen Fläche entsprechenden Abstande von der Abscissenebene.

Das Aberrationsgebiet ist nie so schmal, dass schon seine Feinheit die räumliche Unterscheidung ausschlösse, vielmehr hat es immer

eine relativ beträchtliche Breite. Dass wir es gleichwohl in den meisten Fällen nicht sehen, hat seinen Grund darin, dass die Helligkeit der Empfindung der Lichtintensität nicht proportional ist und daher die Empfindungsfläche eine andre Form hat als die Lichtfläche.

Zunächst ist zu bedenken, dass Unterschiede der Lichtintensität, wenn sie unter einer gewissen Grösse bleiben, überhaupt nicht wahrgenommen werden, wobei besonders in Betracht kommt, dass die noch eben merklichen Unterschiede um so grösser sein müssen, je grösser die Intensitäten selbst sind. Daher müsste der bei *a* Fig. B beginnenden Absenkung der Lichtfläche keineswegs auch eine ebenda beginnende Absenkung der Empfindungsfläche entsprechen, vielmehr die scheinbare Helligkeit noch eine Strecke über *a* hinaus unverändert bleiben. Ebenso müsste die dunkle Empfindung nicht erst bei *g*, sondern bereits diesseits *g* beginnen. Schon deshalb also müsste das Aberrationsgebiet für die Wahrnehmung verschmälert werden, und wenn die Lichtfläche wirklich die in Fig. B dargestellte Form hätte, so müsste sich dort, wo das Aberrationsgebiet an die hellere Fläche grenzt, ein grösserer Theil desselben der Wahrnehmung entziehen, als da, wo es an die dunkle Fläche grenzt. Denn an der ersteren Stelle sind die absoluten Lichtintensitäten viel grösser, und würden deshalb auch viel grössere Intensitätsunterschiede untermerklich werden, worauf schon Helmholtz[1] hingewiesen hat.

Die Begrenztheit unsres Unterscheidungsvermögens für Lichtintensitäten müsste also auf jeder Seite des Irradiationsgebietes einen Theil desselben der Wahrnehmung entziehen und zwar einen grösseren auf der helleren, einen kleineren auf der dunklen oder minder hellen Seite. Wären nun die beiden Flächen in ihrer Lichtintensität überhaupt nicht sehr verschieden, so würde vielleicht das für die Wahrnehmung übrigbleibende Mittelstück des Irradiationsgebietes so schmal werden können, dass eine räumlich gesonderte Wahrnehmung desselben überhaupt unmöglich würde. Dabei wäre zu bedenken, dass je grösser die absoluten Lichtintensitäten der beiden verschieden hellen Flächen sind, um so grösser auch ihre Intensitätsunterschiede sein könnten.

Aber es kommt noch ein zweiter, zuerst von Aubert[2] berücksichtigter und durch die Untersuchungen Mach's (l. c.) und Hering's[3] genauer festgestellter Umstand in Betracht.

Wo immer auf der Netzhaut das Bild einer helleren Fläche in

---

1 Helmholtz, Physiol. Opt. § 21.
2 Aubert, Physiol. d. Netzhaut. §. 101. 1865.
3 Hering, Sitzgsber. d. Wiener Acad. 3. Abth. LXIX. 1874.

das einer minder hellen oder dunklen Fläche übergeht, ist die scheinbare Helligkeit nicht mehr nach demselben Gesetze von der Lichtintensität abhängig, wie auf gleichmässig hellen Flächen, sondern folgt einem besonderen Gesetze. An der Grenze zwischen Hellem und Dunklem wird nämlich das Helle heller, das Dunkle dunkler empfunden als wie es den Lichtintensitäten entspricht. Wenn also bei *a* (Fig. B) die Lichtintensität in Wirklichkeit abnimmt, so wird diese Abnahme mehr oder weniger compensirt durch einen, auf der Contrastwirkung beruhenden, rein subjectiven Helligkeitszuwuchs, und da dieser mit der Annäherung an die dunklere Fläche wächst, so wird die Absenkung der Lichtfläche im Aberrationsgebiete durch einen ansteigenden Zuwuchs der scheinbaren Helligkeit bis zu einer gewissen Grenze ausgeglichen. Auf diese Weise erstreckt sich die scheinbare Helligkeit der helleren Fläche ohne Abnahme oder sogar mit einer gewissen Zunahme mehr oder weniger weit in das Aberrationsgebiet hinein. Das Analoge findet von der andern Seite her statt. Die von *g* nach links hin ansteigende objective Helligkeit wird durch einen Zuwuchs des subjectiven Dunkels, d. i. durch einen negativen Helligkeitszuwuchs bis zu einer gewissen Grenze mehr oder weniger genau compensirt, und dadurch der objective Helligkeitszuwuchs unmerklich gemacht, so dass sich für die Wahrnehmung die mindere Helligkeit oder die Dunkelheit unverändert noch eine Strecke über *g* hinaus in das Aberrationsgebiet hinein fortsetzt. So wird das letztere von beiden Seiten her für die Wahrnehmung verschmälert und derselben mehr oder weniger vollständig entzogen, daher im Anschauungsbilde beide Flächen wieder eine scharfe Grenzlinie erhalten.

Die Lage dieser subjectiven Grenzlinie entspricht aber durchaus nicht nothwendig der Stelle, an welcher sie erscheinen müsste, wenn das Netzhautbild der Grenzlinie ein absolut scharfes wäre, welchen Falls es nach *c* Fig. B zu liegen käme, und ein Aberrationsgebiet gar nicht vorhanden wäre. Vielmehr wird es einerseits von der Form der Lichtfläche im Aberrationsgebiete und von der absoluten Höhe ihrer Ordinaten, anderseits von der Grösse der durch den Contrast bedingten positiven und negativen Zuwüchse der scheinbaren Helligkeit abhängen, an welche Stelle des Aberrationsgebietes die scheinbare Grenze zwischen beiden Flächen zu liegen kommt. Denn diese Zuwüchse sind keineswegs blos von der Form und Höhe der Lichtfläche, sondern sehr wesentlich auch von der Beleuchtung der gesammten übrigen Netzhaut bedingt, ohne dass sich freilich bis jetzt das Gesetz dieser Abhängigkeit genauer formuliren und für jeden

Einzelfall entwickeln lässt. Nur einiges Allgemeine lässt sich schon jetzt darüber sagen.

Die einer beliebigen Netzhautstelle entsprechende Empfindung des Dunklen oder Schwarzen ist um so stärker, oder anders gesagt, die scheinbare Helligkeit ist um so kleiner, je stärker die übrige Netzhaut und insbesondere die Nachbarschaft jener Stelle beleuchtet ist; umgekehrt ist die scheinbare Helligkeit einer Netzhautstelle um so grösser, je weniger die übrige Netzhaut und insbesondere die Nachbarschaft der Stelle bestrahlt ist. Daraus ergiebt sich, dass die scheinbare Grenzlinie zweier verschieden hellen Flächen im Aberrationsgebiete um so weiter nach der dunkleren Fläche hinrücken wird, je weniger Licht auf die übrige Netzhaut fällt, während die scheinbare Grenzlinie um so näher der helleren Fläche liegen wird, je stärker die Bestrahlung der übrigen Netzhaut ist; denn ersterenfalls ist die Helligkeit, letzterenfalls die Dunkelheit der Empfindung begünstigt.

Die je nach den Beleuchtungsverhältnissen verschiedene Lage der scheinbaren Grenzlinie zweier verschieden hellen Flächen muss entsprechende Verschiedenheiten der Sehgrösse (scheinbaren Grösse) zur Folge haben, insbesondere wenn eine rings umgrenzte kleinere Fläche auf einer grossen helleren oder dunkleren Fläche erscheint; und diese Verschiedenheiten der Sehgrösse werden relativ um so grösser sein müssen, je kleiner die begrenzte Fläche ist.

Die durch die Aberration bedingten Aenderungen des scheinbaren Ortes der Conturen und der Sehgrösse bezeichnet man als Irradiationserscheinungen und zwar hat Volkmann[1] die Irradiation positiv genannt, wenn das Hellere auf Kosten des minder Hellen vergrössert erscheint, negativ dagegen, wenn das Minderhelle oder Dunkle auf Kosten des Hellen vergrössert ist. Er stellte z. B. eine weisse mit schwarzen Parallellinien bezogene Tafel vor sich auf. Die Linien waren genau 1 mm breit und eben so breit ihre weissen Zwischenräume. Dicht vor der Tafel befand sich eine sehr dünne, verschiebbare, zur einen Hälfte weisse, zur andern schwarze Platte, in welche viereckige Fenster eingeschnitten waren. Durch ein grosses Fenster der weissen Hälfte der Platte sah man 10 schwarze und 10 weisse Linien, und hiebei erschienen die schwarzen Linien der Wirklichkeit entsprechend gleichbreit wie die weissen. Ferner sah man durch ein kleines Fenster der weissen Hälfte nur zwei schwarze Linien mit ihrem weissen Zwischenraume, also zwei

1 A. W. Volkmann, Physiol. Untersuch. im Gebiete der Optik. I. Heft. S. 1. Leipzig 1863.

schwarze Linien auf einem weit ausgebreiteten weissen Grunde. Hier schienen die schwarzen Linien doppelt so breit, wie die weisse Zwischenlinie (negative Irradiation). Endlich erblickte man durch ein kleines Fenster der schwarzen Hälfte der Scheibe nur zwei weisse Linien mit ihrem schwarzen Zwischenraume, also zwei weisse Linien auf weit ausgebreitetem schwarzen Grunde; hier erschienen nun umgekehrt die weissen Linien doppelt so breit wie ihr schwarzer Zwischenraum (positive Irradiation). Dieser Versuch zeigt den grossen Einfluss, welchen die Helligkeit oder Dunkelheit der nächsten Umgebung des beobachteten Objectes auf die Irradiationserscheinungen hat.

Die Irradiationsgrösse, d. h. der auf Kosten der einen Fläche stattfindende Zuwuchs der scheinbaren Grösse der anderen Fläche lässt sich messen, und wir verdanken Volkmann (l. c.) und Aubert (l. c.) zahlreiche genaue Messungen derselben. Wenn man z. B. den einen von zwei gleichschmalen schwarzen Parallelstreifen vor einem weissen Grunde, oder den einen von zwei weissen Streifen vor einem schwarzen Grunde verschiebbar macht, so kann man denselben so einstellen, dass der Zwischenraum zwischen beiden Streifen gerade so breit erscheint als jeder Streifen. Man begeht dann in den meisten Fällen einen positiven Fehler, welcher das Maass der Irradiation ist. Da die Vergleichung hierbei bis zu einer gewissen Grenze um so genauer, die Messung der Streifen und ihres Zwischenraumes aber um so schwieriger wird, je schmäler die Streifen sind, so bediente sich Volkmann relativ breiter Streifen, welche er auf optischem Wege verkleinerte. Er nannte das hierzu benutzte Instrument das Makroskop. Volkmann hat auf Grund seiner Messungen eine Reihe von Sätzen aufgestellt, deren wichtigste die folgenden sind: „Die Grösse der Irradiation ist von der Grösse des Netzhautbildes abhängig, und es verändern sich beide in entgegengesetzter Richtung.“ Doch wurde dies nur für die Irradiation sehr kleiner Objecte festgestellt. „Weisse Linien auf schwarzem Grunde irradiiren stärker, als schwarze Linien auf weissem Grunde.“ „Die Irradiationsgrösse ist von dem Unterschiede der Lichtstärke des Objects und des Grundes abhängig.“ „Die (negative) Irradiation wird durch die geringste Ermüdung des Auges vergrössert.“ Aubert (l. c.) hat in eingehender Weise diese Ergebnisse Volkmann's controlirt und bestätigt und aus der Contrastwirkung erklärt.

Der Astigmatismus hat nothwendig einen wesentlichen Einfluss auf die Irradiation, weil durch ihn das Aberrationsgebiet nach verschiedenen Richtungen verschieden breit, in einer bestimmten Richtung minimal, in der darauf senkrechten maximal wird. Dem ent-

sprechend muss auch die Irradiationsgrösse in verschiedenen Richtungen verschieden sein, und es kann z. B., wie FICK[1] zeigte, ein kleines Quadrat als Rechteck mit ungleichen Seiten, ein kleiner Kreis elliptisch erscheinen u. dgl. m. Auch die durch den Bau der Linse bedingte strahlige Form des Aberrationsgebietes macht sich oft genug geltend und verzerrt die Form kleiner Figuren und Muster in entsprechender Weise.

Alle Irradiationserscheinungen werden durch Beschränkung der Aberration gemindert, daher ein vor das Auge gesetztes sehr kleines Diaphragma sie mehr oder minder vollständig beseitigt, wobei freilich auch die Minderung der Lichtstärke mit in Betracht zu ziehen ist.

Wir haben bis hierher eine möglichst genaue Accommodation vorausgesetzt. Wenn dieselbe nicht gegeben ist, so gilt vom Zerstreuungsgebiete dasselbe wie vom Aberrationsgebiete; ein scharfer Unterschied zwischen beiden existirt im Grunde überhaupt nicht. Auch sind meist die Irradiationserscheinungen infolge ungenauer Accommodation mit denen zusammengeworfen worden, welche sich auch dem accommodirten Auge zeigen. Die ersteren haben, weil sie viel auffallender sind, die Aufmerksamkeit zuerst auf sich gelenkt, und man hat sich früher fast ausschliesslich mit ihnen beschäftigt. Gegenwärtig, wo uns die Ursachen der Irradiation genauer bekannt sind, knüpft sich an die Irradiation durch mangelhafte Accommodation ein viel geringeres Interesse, als an diejenige, welche die Folge der auch im accommodirten Auge stattfindenden Aberration ist und das Maass der Sehschärfe wesentlich mit bestimmt. Bei mangelhafter Accommodation wird das Zerstreuungsgebiet meist als solches gesehn, die Objecte erhalten verwaschene Umrisse, und genaue Messungen der Irradiationsgrösse sind dann nicht möglich; auch mischt sich sehr bald die Polyopie der Conturen störend ein.

Die positive Irradiation ist meist auffälliger und kommt auch häufiger zur Beobachtung als die negative, auf welche überhaupt erst VOLKMANN aufmerksam gemacht hat. Die Fixsterne erscheinen auch bei möglichst genauer Accommodation als kleine leuchtende Flächen, deren Durchmesser mit der Leuchtkraft des Sternes wächst und also hier vom Gesichtswinkel ganz unabhängig ist. Ein feines Loch oder ein feiner Spalt im Fensterladen eines Dunkelzimmers erscheinen übermässig breit. Die äussere Peripherie der Mondsichel hat scheinbar einen grösseren Radius als die übrige gleichzeitig sichtbare und nur sehr schwach erleuchtete Mondscheibe, so

1 A. FICK, Ztschr. f. rat. Med. N. F. II. S. 83. 1852.

dass die erstere der letzteren von aussen angefügt scheint. Die Kante eines Lineals bekommt, wenn man sie vor eine Flamme hält, durch die Irradiation der letzteren eine Einbiegung, ein Draht erscheint vor einer Flamme verschmälert oder sogar durchbrochen. Diese Beispiele beweisen die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Behauptung, dass das Aberrationsgebiet ein relativ grosses ist und dass wir es also bei minder starken Differenzen der Lichtintensität nur deshalb nicht als ein Uebergangsgebiet zwischen beiden Helligkeiten wahrnehmen, weil die durch den Contrast bedingten positiven und negativen Lichtzuwüchse gross genug sind, um es der Wahrnehmung zu entziehen.

Bei mangelhafter Accommodation und guter Beleuchtung erscheint eine weisse Scheibe auf schwarzem Grunde grösser, als eine gleich grosse schwarze auf weissem Grunde, während sich, wie Volkmann zeigte, bei sehr schwacher Beleuchtung das Verhältniss sogar umkehren kann. Eine weiss bekleidete Hand erscheint grösser als eine schwarz bekleidete, die weissen Felder eines Schachbretes scheinen grösser zu sein als die schwarzen, und was dergleichen bekannte Beispiele mehr sind.

Schon Kepler erklärte die Irradiationserscheinungen physikalisch aus der Zerstreuung des Lichtes auf der Netzhaut. Später gewann jedoch eine besonders von Plateau[1] ausführlich entwickelte physiologische Erklärung grossen Anklang, nach welcher die positive Irradiation darauf beruhen sollte, dass die Erregung der Netzhaut sich über die Grenzen des helleren Bildes hinaus verbreite und die Nachbarstellen in Miterregung versetze. Der Einfluss der Aberration und Zerstreuung wurde darüber ganz vernachlässigt. Welcker[2] ging wieder auf Kepler zurück und zeigte an zahlreichen Beispielen den Einfluss der Zerstreuung des Lichts durch ungenügende Accommodation. Helmholtz (l. c.) wies darauf hin, dass mit wachsender Lichtintensität immer grössere Intensitätsunterschiede unmerklich werden, und discutirte die Form der Lichtfläche im Gebiete der Aberration für den Fall, dass letztere eine lediglich chromatische wäre. Volkmann (l. c.) machte auf die negative Irradiation aufmerksam und suchte die physikalische Erklärung durch psychologische zu ergänzen. Aubert (l. c.) erörterte zuerst den Einfluss des Contrastes auf die Irradiationserscheinungen und gab für fast alle Irradiationserscheinungen die Erklärung. Nachdem dann Mach (l. c.) die Contrastwirkungen einer exacteren Untersuchung unterworfen und eine physiologische Erklärung derselben gefordert hatte, wies Hering auf die Bedeutung hin, welche die gegenseitige Wechselwirkung der Netzhautstellen für die Conturirung der Sehdinge hat.

---

1 Plateau, Mémoir. de l'Acad. de Belgique. XI. 1839 u. Ann. d. Physik u. Chemie. Ergänz. I. 1842.

2 Welcker, Ueber Irradiation. Giessen 1852.

Die vollständigste, bis zum Jahre 1876 reichende Zusammenstellung der Literatur über Irradiation hat PLATEAU[1] gegeben. Zur Ergänzung vergleiche man NAGEL's Jahresbericht f. Ophth.

E. Hering.

BERICHTIGUNGEN zu BAND III. THEIL 1.

Seite 345 Zeile 19 v. u. statt als lies oder.
„ 353 „ 7 v. u. statt den Längsschnitten den mittlen Längschnitten.
„ 429 ist die rechte Hälfte der Fig. 29 um 90° nach rechts gedreht zu denken.*
„ 568 Zeile 4 v. o. statt als lies oder
„ 574 „ 19 u. 20 v. u. statt seine Ränder lies die Ränder des Schattens.
„ 582 „ 15—17 v. o. sind die Worte „erstens wird“ u. s. w. bis „wissen wir“ zu streichen und dafür nur zu lesen: wir wissen.
„ 584 „ 7 v. o. ist zwischen „man“ u. „durch“ einzuschalten bei seitwärts geneigtem Kopfe.

---

1 PLATEAU. Mémoir. de l'Acad. de Belgique. XLII. 1878.

* Der Fehler in Fig. 29 ist dadurch entstanden, dass der Stock durchschnitten und die Hälften dann falsch zusammengestellt wurden.

NACHTRÄGE UND BERICHTIGUNGEN

ZU BAND III. THEIL 2.

Zu Seite 14.

Practische mathematische Analyse von Klangcurven.[1] Man kann nach den Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung jede periodische Curve analysiren.

Ist $\frac{360^0}{n} = z$ und

$y_x = a_0 + p_1 \sin(v_1 + zx) + p_2 \sin(v_2 + 2zx) + p_3 \sin(v_3 + 3zx) + \ldots$ was nach dem S. 77 Besprochenen für eine periodische Function gültig sein muss, so kann man aus den n durch Messung zu findenden Ordinaten $y_0\, y_1\, y_2 \ldots y_{n-1}$ mit Hülfe der Methode der kleinsten Quadrate die Constanten $a_0\, p_1\, v_1\, p_2\, v_2 \ldots.$ bestimmen.

Setzt man: $p_1 \sin v_1 = a_1;\ p_2 \sin v_2 = a_2$
$p_1 \cos v_1 = b_1;\ p_2 \cos v_2 = b_2$

so sind die wahrscheinlichsten Werthe dieser Constanten gegeben durch

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \qquad a_1 = \frac{2}{n} \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \cos \mu z \qquad b_1 = \frac{2}{n} \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \sin \mu z$$

$$a_2 = \frac{2}{n} \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \cos 2\mu z \qquad b_2 = \frac{2}{n} \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \sin 2\mu z$$

u. s. w.

Es wird also z. B. für $n = 36$

$$a_1 = \frac{2}{n}(y_0 \cos 0 + y_1 \cos 10 + y_2 \cos 20 + \ldots + y_{35} \cos 350)$$

$$\sqrt{a_1^2 + b_1^2} = p_1 \qquad \frac{a_1}{b_1} = tg\, v_1$$

1 Dieser Gegenstand, welcher strenggenommen nicht zur Acustik gehört, wird hier aus Rücksicht auf die Lehre von der Stimme und Sprache nachgetragen (vgl. die Verweisung Bd. I. Theil 2. S. 187 dieses Handbuchs).

Zur Bestimmung des Fehlers δ, der in Folge ungenügender Zahl von Gliedern noch restirt, dient die Gleichung

$$\sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} \delta_\mu^2 = \sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu^2 - \frac{n}{2}(2a_0^2 + a_1^2 + b_1^2 + a_2^2 + b_2^2 + a_3^2 + b_3^2 + \ldots)$$

Man bestimmt so viele Constanten, dass die Summe der Fehlerquadrate hinreichend klein wird, kann aber auch den Fehler jedes y_μ für sich bestimmen.

Diese Rechnung setzt voraus, dass das $\frac{n}{2}$-te Glied schon verschwindend klein sei, denn

$$\sum_{\mu=0}^{\mu=n-1} y_\mu \sin \frac{nz}{2} = 0$$

unabhängig von der Messung, weil $z = \frac{360^\circ}{n}$ also $\frac{nz}{2} = 180^\circ$ ist. Die Methode, deren Ableitung hier nicht gegeben werden kann, setzt eine sehr grosse Zahl von Ordinaten voraus. Bei den Vocalcurven wird man kaum weniger als 36 Ordinaten messen dürfen. Dies giebt für nur 15 Glieder 1080 Werthe, die entsprechend zu verrechnen sind, doch genügt es 208 Werthe zu berechnen, die übrigen bilden Wiederholungen. Immerhin bleibt die Rechnung so gross, dass man alle Vortheile wohl zu überlegen und auszunutzen hat, um nicht zu viel Zeit zu verlieren.

Hensen.

Zu Seite 65.

In später angestellten Versuchen bewegte sich die Nadel in der Sehne des M. stapedius nicht merklich anders als in der des Tensor tympani, d. h. sie zuckte auch bei tieferen Tönen. Dies geschah sowohl vor wie nach Abtrennung der Sehne des Tensor vom Hammer. Da bei solchen Fragen, wie der vorliegenden, der positive Erfolg an Beweiskraft sehr viele negative Resultate aufwiegt, so ist darnach der bezügliche Bericht S. 65 zu corrigiren.

Hensen.

Seite 118, Anm. 146, lies Alfred M. Meyer, Nature Vol. XIV. No. 354, statt Alfred, M. Meyer's Nature Vol. etc.

Seite 125, Columnentitel lies: Diplacusis statt Diplainsie.

Seite 276, Zeile 13, ist A. zu streichen.

Einige kleine Lücken in der Physiologie der Sinnesorgane, über welche in Folge des Todes von Prof. Funke eine Vereinbarung nicht mehr stattfinden konnte, werden am Schlusse des ganzen Werkes (im sechsten Bande) durch Nachträge ihre Erledigung finden.

Die Redaction.

SACHREGISTER

ZUM DRITTEN BANDE.

(Die stark gedruckten Zahlen bezeichnen den Theil des dritten Bandes.)

D.

E.

H.

I.

K. (s. auch C.)

L.

M.

N.

O.

S.

T.

U.

V.

W.

X.

Z.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.



3 2044